

PROCESSING METHOD AND PROCESSOR USING THE SAME**Publication Number:** 09-005650 (JP 9005650 A) , January 10, 1997**Inventors:**

- ARAKI KEISUKE
- AKIYAMA KENJI

Applicants

- CANON INC (A Japanese Company or Corporation), JP (Japan)

Application Number: 07-178236 (JP 95178236) , June 21, 1995**International Class (IPC Edition 6):**

- G02B-025/00
- G02B-027/00
- G06F-017/50

JAPIO Class:

- 29.2 (PRECISION INSTRUMENTS--- Optical Equipment)
- 45.4 (INFORMATION PROCESSING--- Computer Applications)

Abstract:

PURPOSE: To obtain a processing method adequate for paraxial calculation of an optical system for calculating the paraxial quantity developed around the reference axis of the optical system including a curved surface (off-axial curved surface) which is not the plane having the plane normal not aligned to the reference axis at the point where the optical path (reference axis) of the reference wavelength from an object plane to an image plane intersects with the curved surface and a processor using the same.

CONSTITUTION: At least one among A, D, B, .phi. of the Gaussian bracket by which the calculation equation is obtained, focal length, two principal point positions, magnification .beta. and the paraxial quantity of back focus are calculated for each of the respective faces or over the entire system by the technique developed around the reference axis of the optical system including the off-axial curved surface which is not the plane having the plane normal not aligned to the reference axis at the point where the reference axis of the reference wavelength from the object plane to an image plane intersects with the curved surface.

JAPIO

© 2003 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.
Dialog® File Number 347 Accession Number 5390850

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-5650

(43)公開日 平成9年(1997)1月10日

(51)Int.Cl.*	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 02 B 25/00			G 02 B 25/00	A
	27/00		27/00	
G 06 F 17/50			G 06 F 15/60	6 8 0 A

審査請求 未請求 請求項の数22 FD (全 54 頁)

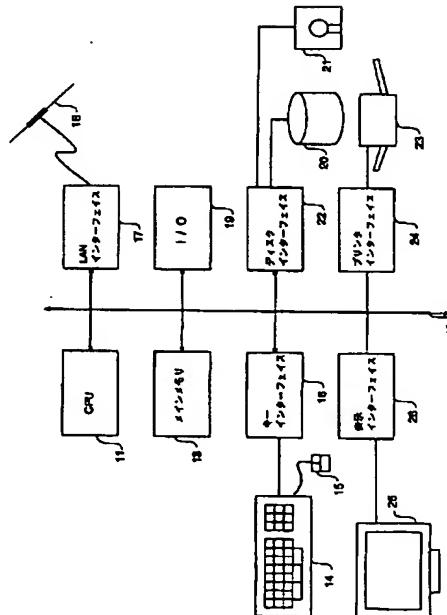
(21)出願番号	特願平7-178238	(71)出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	平成7年(1995)6月21日	(72)発明者	荒木 敬介 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(72)発明者	秋山 健志 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ ノン株式会社内
		(74)代理人	弁理士 高梨 幸雄

(54)【発明の名称】 处理方法及びそれを用いた処理装置

(57)【要約】

【目的】 物体面から像面にいたる基準波長の光路（基準軸）が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（Off-Axial曲面）を含む光学系の、基準軸のまわりに展開した近軸量を計算する光学系の近軸計算に好適な処理方法及びそれを用いた処理装置を得ること。

【構成】 物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりに展開する手法で計算式が得られるガウシャンブラケットのA, D, B, Φ, 焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを各面毎または全系にわたって計算するようにしたこと。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりに展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA, D, B, Φ, 焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを各面毎または全系にわたって計算するようにしたことを特徴とする処理方法。

【請求項2】 物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりに展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA, D, B, Φ, 焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを各面毎、あるいは全系にわたって計算して表示装置に表示、またはプリンターにプリントアウトすることを特徴とする処理方法。

$$z(x, y) = C_{20}x^2 + 2C_{21}xy + C_{22}y^2 + D_{20}x^3 + 3D_{21}x^2y + 3D_{22}xy^2 + D_{23}y^3 + E_{20}x^4 + 4E_{21}x^3y + 6E_{22}x^2y^2 + 4E_{23}xy^3 + E_{24}y^4 + \dots \quad (\text{式1})$$

と表現される非対称非球面の多項式で計算して表示装置に表示する、あるいはプリンターにプリントアウトすることを特徴とする処理方法。

【請求項5】 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない※

* トすることを特徴とする処理方法。

【請求項3】 物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりにする展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA, D, B, Φ, 焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを複数のアジムスで、各面毎、あるいは全系にわたって計算してその近軸量のアジムス依存性を表示装置に表示、またはプリンターにプリントアウトすることを特徴とする処理方法。

【請求項4】 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記基準軸と面との交点を原点とし z 軸を面法線とした座標系で2次の項から始まる平面ベースの式

20* い平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記交点を原点とし z 軸を面法線とした座標系で2次の項から始まるOff-Axial 2次曲面ベースの式

【数1】

$$z = \frac{(1/a+1/b)(\cos^2(t)y^2+x^2)}{2\cos(t)[1+1/2(1/a-1/b)\sin(t)y+\sqrt{1+(1/a-1/b)\sin^2(t)y-y^2/ab-(1/ab+1/4\tan^2(t)(1/a+1/b)^2)x^2}]} \\ + C_{30}x^3 + C_{21}x^2y + C_{12}xy^2 + C_{03}y^3 + C_{40}x^4 + C_{31}x^3y \\ + C_{22}x^2y^2 + C_{13}xy^3 + C_{04}y^4 + \dots \quad (\text{式28})$$

と表現される非対称非球面の式で計算して表示する、あるいはプリンターにプリントアウトすることを特徴とする処理方法。

【請求項6】 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しな★

★ い平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記交点を原点とし z 軸を面法線とした座標系で2次の項から始まるトーリック面ベースの式

【数2】

$$z = R - (R-s) \sqrt{1 - \frac{y^2}{(R-s)^2}} \\ + C_{30}x^3 + C_{21}x^2y + C_{12}xy^2 + C_{03}y^3 + C_{40}x^4 + C_{31}x^3y \\ + C_{22}x^2y^2 + C_{13}xy^3 + C_{04}y^4 + \dots \quad (\text{式29})$$

ただし R は母線の曲率半径、 s は $s=s(x)$ で子線断面の形状の式である。

と表現される非対称非球面の式で計算して表示する、あるいはプリンターにプリントアウトすることを特徴とする処理方法。

【請求項7】 物体面から像面にいたる基準波長の基準

軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、基準軸のまわりに展開した

50 【数3】

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (数式8)$$

$$D=1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (数式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N \cos \theta' - N \cos \theta) (\cos \xi' \cos \xi C02 + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi) C11 + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C20)}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi) (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (数式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_v' = A_v h_v \quad (数式13)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (数式14)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (数式15)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (数式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系あるいはブロックの近軸量A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算し、全系あるいはブロックの近軸量A, B, Φ.. Dがほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状を決定することを特徴とする処理方法。

【請求項8】 請求項7の処理方法および装置において *

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (数式8)$$

$$D=1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (数式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N \cos \theta' - N \cos \theta) (\cos \xi' \cos \xi C02 + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi) C11 + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C20)}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi) (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (数式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_v' = A_v h_v \quad (数式13)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (数式14)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (数式15)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (数式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、

* て、全系あるいはブロックの近軸量A, B, Φ, Dがアジムス依存性が最も小さくなるように、各構成面の形状を決定する手段として自動設計の手法を用いることを特徴とする処理方法。

【請求項9】 請求項1から請求項8のいずれか1項記載の処理方法を用いていることを特徴とする処理装置。

【請求項10】 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、基準軸のまわりに展開した

【数4】

全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されていることを特徴とする光学系。

【請求項11】 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、基準軸のまわりに展開した

【数5】

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (4)$$

$$D-1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (5)$$

$$\Phi = \frac{2(N'\cos \theta' - N\cos \theta) (\cos \xi' \cos \xi C_{20} + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi) C_{11} + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C_{20})}{\sqrt{\cos \theta' \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi) (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (6)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_v' = A_v, h_v \quad (7)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v, h_v + D_v, \alpha_v \quad (8)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (9)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (10)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量
A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、
全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されており、かつ物体面
距離あるいは像面距離のどちらか片方が無限遠であるこ
とを特徴とする光学系。

【請求項12】前記光学系のすべて面はOff-Axial反射面であることを特徴とする請求項11の光学系。

【請求項13】前記光学系の構成面はOff-Axial反射面と共軸の屈折面であることを特徴とする請求項11の光学系。

* 【請求項14】前記光学系は少なくとも1面の反射面を含み、その反射面がC₁₁が0でC₁₀とC₂₀cos²θの比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{10}=C_{20}, \cos^2 \theta \quad (11)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面で
あることを特徴とする請求項11の光学系。

【請求項15】前記光学系において含まれる反射面は
すべてC₁₁が0でC₁₀とC₂₀cos²θの比がほぼ1になる
面または

$$C_{11}=0, C_{10}=C_{20}, \cos^2 \theta \quad (12)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面で
あることを特徴とする請求項11の光学系。

【請求項16】物体面から像面にいたる基準波長の基
準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致し
ない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基
準軸のまわりに展開した

【数6】

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (7)$$

$$D-1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (8)$$

$$\Phi = \frac{2(N'\cos \theta' - N\cos \theta) (\cos \xi' \cos \xi C_{20} + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi) C_{11} + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C_{20})}{\sqrt{\cos \theta' \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi) (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (9)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算
し、

$$h_v' = A_v, h_v \quad (10)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v, h_v + D_v, \alpha_v \quad (11)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (12)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (13)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量
A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、
全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がな

いように各構成面の形状が決定されており、かつ物体面
距離および像面距離のどちらも有限距離であることを特
徴とする光学系。

【請求項17】前記光学系はすべて面がOff-Axial射
面であることを特徴とする請求項16の光学系。

【請求項18】前記光学系は少なくとも1面の反射面
を含み、その反射面がC₁₁が0でC₁₀とC₂₀cos²θの比
がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{10}=C_{20}, \cos^2 \theta \quad (14)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であることを特徴とする請求項16の光学系。

【請求項19】前記光学系において含まれる反射面はすべて C_{11} が0で C_{02} と $C_{10}\cos^2\theta$ の比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{10}\cos^2\theta \quad (\text{式}27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面で*

$$A = \sqrt{\frac{\cos\theta'(\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi+\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi)}{\cos\theta'(\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi+\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi)}}$$

*あることを特徴とする請求項16の光学系。

【請求項20】物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系が複数のブロックに別れており、全系を通しての基準軸のまわりに展開した

【数7】

(式8)

$$D=1/A = \sqrt{\frac{\cos\theta'(\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi+\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi)}{\cos\theta'(\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi+\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi)}}$$

(式9)

$$\Phi = \frac{2(N\cos\theta'-N\cos\theta)(\cos\xi'\cos\xi C20+(\cos\xi'\sin\xi+\cos\theta'\cos\xi'\sin\xi)C11+\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi C20)}{\sqrt{\cos\theta'\cos\theta'(\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi+\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi)(\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi+\cos\theta'\cos\xi'\cos\xi)}} \quad (\text{式}10)$$

(式10)

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_{v'}=A_v h_v \quad (\text{式}13)$$

$$\alpha_{v'}=\Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (\text{式}14)$$

$$h_{v+1}=h_{v'}-e_{v'} \alpha_{v'} \quad (\text{式}15)$$

$$\alpha_{v+1}=\alpha_{v'} \quad (\text{式}16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って各ブロックの近軸量 A , B , Φ , D を複数のアジムスについて計算した時、各ブロックの近軸量 A , B , Φ , D がほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されており、それらのブロックの間の間隔を変化させることによってズームを行なうことを特徴とするズームレンズ光学系。

【請求項21】前記ズームレンズ光学系は少なくとも1面の反射面を含み、その反射面が C_{11} が0で C_{02} と $C_{10}\cos^2\theta$ の比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{10}\cos^2\theta \quad (\text{式}27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であることを特徴とする請求項20のズームレンズ光学系。

【請求項22】前記ズームレンズ光学系において含まれる反射面はすべて C_{11} が0で C_{02} と $C_{10}\cos^2\theta$ の比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{10}\cos^2\theta \quad (\text{式}27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であることを特徴とする請求項20のズームレンズ光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学系の近軸計算を行う為の処理方法及びそれを用いた処理装置に関する特許に、物体面から像面にいたる基準波長の光路（以下「基

準軸」ともいう。）が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（以下「Off-Axial曲面」ともいう。）を含む光学系の、基準軸のまわりに展開した近軸量を計算することを特徴とする光学系の近軸計算に好適な処理方法及びそれを用いた処理装置に関する。

【0002】また本発明は、光学系の構成面の表現にかかる処理方法及びそれを用いた処理装置に関する、特に、物体面から像面にいたる基準波長の光路（基準軸）曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（Off-Axial曲面）を含む光学系の構成面の表現にかかる処理方法及びそれを用いた処理装置に関する。

【0003】また本発明は、物体面から像面にいたる基準波長の光路（基準軸）が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（Off-Axial曲面）を含む光学系の形状決定のために好適な処理方法及びそれを用いた処理装置に関する。

【0004】更に本発明は、物体面から像面にいたる基準波長の光路（基準軸）が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（Off-Axial曲面）を含むOff-Axial光学系に関する。

【0005】

【従来の技術】従来より各面の回転対称軸である光軸のまわりに回転対称の屈折面または反射面を配置してなる共軸光学系が物体面の像を像面に結像する光学系として用いられてきた。共軸光学系の構成面の表現法としてはその光学系の回転対称軸である光軸と各面の交点である面頂点をローカル座標の原点とした面形状の表現式、式a, あるいは式bが主として用いられている。

【0006】尚、式a, bは本明細書の実施例の説明

の最後に一括して表示している。以下、数式として直接表示していない式も同様にして実施例の説明の最後に一括して表示している。

【0007】そしてその共軸光学系の骨組みを決めるものとして、共軸系の近軸理論があり、共軸光学系の設計の際に焦点距離や倍率を決めるのに用いられている。そしてそうした近軸量を用いて共軸光学系の骨組みが決められ、収差をターゲットとした自動設計法などにより共軸光学系の形状が決定されている。

【0008】ところが最近、HMD (head mount display) のような表示系においては従来の共軸光学系の範疇には属さない非対称非球面を用いた設計（主として反射面）が自動設計技術の向上に伴いしばしば見うけられるようになってきている。

【0009】こうした非対称非球面の表現方法としては、共軸系の上記式で表わされる面が大きく偏心していく光学系として使っている部分は光軸から大きく離れた部分であるとする「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」（図42参照）が一般的であり、そして表現した光学系に無理やり共軸系の近軸理論を適用したりもしていた。

【0010】そして上述した座標系を用い、光学配置の骨組みや焦点距離や倍率といった合理的な評価量もそろわないままこうした光学系（Off-Axial光学系）を、像面でのスポットの絞られかただけをターゲットにした自動設計の手法で、あるいは軸外までよく収差のとれた共軸光学系の軸外部分だけを用いるといった手法で設計していた。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、こうした光学系（Off-Axial光学系）に対して「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」は、実際の光線があたり使用される部分の表現の原点が使用される部分の中にはないことが多く、原点を使用領域に来るよう一度座*

$$z(x, y) = C_{20}x^2 + 2C_{11}xy + C_{02}y^2 + D_{30}x^3 + 3D_{21}x^2y + 3D_{12}xy^2 + D_{03}y^3 + E_{40}x^4 + 4E_{31}x^3y + 6E_{22}x^2y^2 + 4E_{13}xy^3 + E_{04}y^4 + \dots \quad (\text{式 } 1)$$

または

【0016】

* 【数8】

※

$$(1/a+1/b)(\cos^2(t)y^2+x^2)$$

$$z = \frac{2\cos(t)[1+1/2(1/a-1/b)\sin(t)y+\sqrt{1+(1/a-1/b)\sin^2(t)y-y^2}/ab-(1/ab+1/4\tan^2(t)(1/a+1/b)^2)x^2]}{(1/a+1/b)(\cos^2(t)y^2+x^2)} \\ + C_{30}x^3 + C_{21}x^2y + C_{12}xy^2 + C_{03}y^3 + C_{40}x^4 + C_{31}x^3y \\ + C_{22}x^2y^2 + C_{13}xy^3 + C_{04}y^4 + \dots \quad (\text{式 } 28)$$

または

【0017】

【数9】

* 標変換しないデータでは実際の面の加工、測定の際にはひどく不便であった（問題点1）。

【0012】またこうした光学系（Off-Axial光学系）の各面の形状を変化させて光学系としての性能を最適化する場合、使用する面の部分の中心を結ぶ線の折れ曲がり方も大きく変化して光学系の骨組みの基本配置が固定できないという問題（問題点2）もあった。（図42参照）そして、こうした光学系（Off-Axial光学系）に対しては共軸系の近軸論・収差論の手法は、光線のあたる部分の近傍に對称軸が存在しないので意味を持たず、かといって一般的なOff-Axial光学系を普遍的に扱える理論はまだ構築されていなかった。そしてこうした光学系（Off-Axial光学系）に対しては光学系の設計の目安となる合理的な一般的な焦点距離や倍率を計算することもできなかった（問題点3）。

【0013】従って、Off-Axial光学系の形状決定は試行錯誤に頼らざるをえず、効率的な形状決定方法が確立しているとは言い難かった（問題点4）。

【0014】そして得られた光学系も「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」によって表現されているため、対称な面を偏心させただけの非対称非球面で完全な非対称非球面とは言い難く、従って非対称非球面としての設計の自由度も低く十分な性能の光学系と言い難いものも多かった（問題点5）。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は問題点1、問題点2を解決するために、さらに問題点3を解決する理論及び処理方法を構築するために、こうしたOff-Axial光学系に対しても、物体面から像面にいたる基準波長の光路（基準軸）が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面（Off-Axial曲面）を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記交点を原点とし z 軸を面法線とした座標系で2次の項から始まる

$$z=R-(R-s)\sqrt{1-\frac{y^2}{(R-s)^2}}$$

$$+C_{30}x^3+C_{21}x^2y+C_{12}xy^2+C_{03}y^3+C_{40}x^4+C_{31}x^3y \\ +C_{22}x^2y^2+C_{13}xy^3+C_{04}y^4+\dots+\dots$$

ただしRは母線の曲率半径、sはs=s(x)で子線断面の形状の式である。

(数式29)

で表わされる非対称非球面の式をOff-Axial曲面の表現式として用いる。

【0018】そして光学系の骨組みを決める近軸論がその座標系と折れ曲がった基準軸光線に沿った近軸展開手法を用いれば構築可能であり、そうして構築された理論を用いた計算処理方法ならびに処理装置を問題点3を解決するための手段として用いる。

【0019】更に近軸トレースの式を使って全系あるいは各ブロックの近軸量を計算し、全系（ブロック）の近軸量がほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状を決定するという、形状決定の計算処理方法ならびに処理装置を問題点4を解決するための手段として用いる。

【0020】そして問題点1から4までを解決するための手段を用いて確立された手法で得られる光学系を採用することで問題点5の解決を図る。なお、問題点5の解決策として、反射面に対しては、解析的に求められる「反射面のパワーが各面でアジムス依存性を持たない条件」を利用して得られる光学系を採用することも有効である。

【0021】次に具体的に本発明の近軸計算を行う為の処理方法及びそれを用いた処理装置の構成を説明する。

【0022】まず、本発明の処理方法は、
（A-1）物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりに展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA、D、B、Φ、焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを各面毎、あるいは全系にわたって計算して表示装置に表示、またはプリンターにプリントアウトすることを特徴としている。

$$z(x,y)=C_{20}x^2+2C_{11}xy+C_{02}y^2+D_{30}x^3+3D_{21}x^2y+3D_{12}xy^2+D_{03}y^3 \\ +E_{40}x^4+4E_{31}x^3y+6E_{22}x^2y^2+4E_{13}xy^3+E_{04}y^4+\dots \quad (\text{数式1})$$

と表現される非対称非球面の多項式で計算して表示装置に表示する、あるいはプリンターにプリントアウトすることを特徴としている。

【0026】（A-5）物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系

10*くとも1つを各面毎または全系にわたって計算するようにしたことを特徴としている。

【0023】（A-2）物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりに展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA、D、B、Φ、焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを各面毎、あるいは全系にわたって計算して表示装置に表示、またはプリンターにプリントアウトすることを特徴としている。

【0024】（A-3）物体面から像面にいたる基準波長の基準光線の光路基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、該基準軸のまわりにする展開する手法で計算式が得られるガウシャンプラケットのA、D、B、Φ、焦点距離、2つの主点位置、倍率β、バックフォーカスの近軸量の少なくとも1つを複数のアジムスで、各面毎、あるいは全系にわたって計算してその近軸量のアジムス依存性を表示装置に表示、またはプリンタ

30一にプリントアウトすることを特徴としている。

【0025】（A-4）物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、Off-Axial曲面の形状を、上記基準軸と面との交点を原点としZ軸を面法線とした座標系で2次の項から始まる平面ベースの式

40の、Off-Axial曲面の形状を、上記交点を原点としZ軸を面法線とした座標系で2次の項から始まるOff-Axial2次曲面ベースの式

【0027】

【数10】

15

(B-1) 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系の、基準軸のま

* わりに展開した
【0035】
【数13】

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式8)$$

$$D=1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N\cos \theta' - N\cos \theta)(\cos \xi' \cos \xi C_{02} + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi)C_{11} + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C_{20})}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)(\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_v' = A_v h_v \quad (式13)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (式14)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (式15)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量

A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がない※

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式8)$$

$$D=1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N\cos \theta' - N\cos \theta)(\cos \xi' \cos \xi C_{02} + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi)C_{11} + \cos \theta' \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi C_{20})}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)(\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_v' = A_v h_v \quad (式13)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (式14)$$

$$h_{v,1} = h_v' - e_v' \alpha_v' \quad (式15)$$

$$\alpha_{v,1} = \alpha_v' \quad (式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量

A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されており、かつ物体面距離あるいは像面距離のどちらか片方が無限遠であることを特徴としている。

【0038】特に、

(B-2-1) 前記光学系のすべて面はOff-Axial反射

※ いように各構成面の形状が決定されていることを特徴としている。

【0036】(B-2) 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系

の、基準軸のまわりに展開した
【0037】
【数14】

20

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量

A, B, Φ, Dを複数のアジムスについて計算した時、

全系の近軸量A, B, Φ, Dがほぼアジムス依存性がない※

面であること。

(B-2-2) 前記光学系の構成面はOff-Axial反射面

と共に軸の屈折面であること。

40 (B-2-3) 前記光学系は少なくとも1面の反射面を含み、その反射面がC₁₁が0でC₀₂とC₁₂cos²θの比がほぼ1になる面またはC₁₁=0, C₀₂=C₁₂cos²θ (式27) の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であること。

(B-2-4) 前記光学系において含まれる反射面はすべてC₁₁が0でC₀₂とC₁₂cos²θの比がほぼ1になる面またはC₁₁=0, C₀₂=C₁₂cos²θ (式27) の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面で

50

17

あること。等、を特徴としている。

【0039】(B-3) 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系 *

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式8)$$

$$D/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N'\cos \theta' - N\cos \theta)(\cos \xi' \cos \xi C20 + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi)C11 + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi C20)}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)(\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_{v'} = A_v h_v \quad (式13)$$

$$\alpha_{v'} = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (式14)$$

$$h_{v+1} = h_{v'} - e_{v'} \alpha_{v'} \quad (式15)$$

$$\alpha_{v+1} = \alpha_{v'} \quad (式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って全系の近軸量 A, B, Φ, D を複数のアジムスについて計算した時、全系の近軸量 A, B, Φ, D がほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されており、かつ物体面距離および像面距離のどちらも有限距離であることを特徴としている。

【0041】特に、

(B-3-1) 前記光学系はすべて面がOff-Axial射面であること。

(B-3-2) 前記光学系は少なくとも1面の反射面を含み、その反射面が C_{11} が 0 で C_{02} と C_{20} \cos^2 \theta の比がほぼ 1 になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{20}, \cos^2 \theta \quad (式27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であること。

20 (B-3-3) 前記光学系において含まれる反射面はすべて C_{11} が 0 で C_{02} と C_{20} \cos^2 \theta の比がほぼ 1 になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{20}, \cos^2 \theta \quad (式27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であること。等、を特徴としている。

【0042】本発明のズームレンズ光学系は、(C-1) 物体面から像面にいたる基準波長の基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではないOff-Axial曲面を含む光学系が複数のブロックに別れており、全系を通しての基準軸のまわりに展開した

【0043】

【数16】

※

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式8)$$

$$D/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (式9)$$

$$\Phi = \frac{2(N'\cos \theta' - N\cos \theta)(\cos \xi' \cos \xi C20 + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi)C11 + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi C20)}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)(\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (式10)$$

で定義されるOff-Axial曲面の近軸量各面ごとに計算し、

$$h_{v'} = A_v h_v \quad (式13)$$

$$\alpha_{v'} = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (式14)$$

$$h_{v+1} = h_{v'} - e_{v'} \alpha_{v'} \quad (式15)$$

$$\alpha_{v+1} = \alpha_{v'} \quad (式16)$$

で定義される近軸トレースの式を使って各ブロックの近軸量 A, B, Φ, D を複数のアジムスについて計算した

19

時、各ブロックの近軸量A, B, C, Dがほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状が決定されており、それらのブロックの間の間隔を変化させることによってズームを行なうことを特徴としている。

【0044】特に、

(C-1-1) 前記ズームレンズ光学系は少なくとも1面の反射面を含み、その反射面がC₁₁が0でC₀₂とC₂₀cos²θの比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{20}, \cos^2\theta \quad (\text{式}27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であること。

(C-1-2) 前記ズームレンズ光学系において含まれる反射面はすべてC₁₁が0でC₀₂とC₂₀cos²θの比がほぼ1になる面または

$$C_{11}=0, C_{02}=C_{20}, \cos^2\theta \quad (\text{式}27)$$

の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面であること。等、を特徴としている。

【0045】

【実施例】本発明の実施例を説明する前に、本発明者が構築したOff-Axial光学系の近軸理論については、一般には知られていないのでその内容について解説する。

【0046】《Off-Axial光学系の近軸理論》

1. Off-Axial光学系と構成面の表現方法

1-1. Off-Axial光学系

従来多く用いられている共軸光学系に対し、Off-Axial光学系とその骨組みとなる基準軸を以下の様に定義する。

【0047】★基準軸の定義

一般的には物体面から像面にいたる基準となる基準波長の光線の光路をその光学系における基準軸と定義する。これだけでは基準となる光線の選び方に曖昧性が残るので、通常は以下の2つの原則のいずれかに則り基準光線を設定する。

【0048】(1) 光学系に部分的にでも対称性を有する軸が存在し、収差のとりまとめが対称性よく行なうこと*

$$\begin{aligned} z(x, y) = & C_{20}x^2 + 2C_{11}xy + C_{02}y^2 + D_{30}x^3 + 3D_{21}x^2y + 3D_{12}xy^2 + D_{03}y^3 \\ & + E_{40}x^4 + 4E_{31}x^3y + 6E_{22}x^2y^2 + 4E_{13}xy^3 + E_{04}y^4 + \dots \end{aligned} \quad (\text{式}1)$$

のように表わす。

【0051】このように基準軸との交点を中心いて面法線を固定して展開する手法を用いて構成面を定義しておけば、従来のOff-Axial光学系の設計法とは異なり、光学配置の骨組み（基準軸の配置）を変えることなく面形状を変化させることができる（図44参照）。また更に、2次の展開係数も固定して3次以降の係数のみを変化させれば各アジムスでの近軸量（後述の式8から式11の結果参照）を変えることなく収差補正のみを行なうことができる。

【0052】2. 折れ曲がった基準軸に沿った近軸展開手法

図45に解析に用いた折れ曲がった基準軸に沿った近軸

20

*ができる場合にはその対称性を有する軸上を通る光線を基準光線とする。

【0049】(2) 光学系に一般的に対称軸が存在しない時、あるいは部分的には対称軸が存在しても、収差のとりまとめが対称性よく行なえない時には、物体面中心（被撮影、被観察範囲の中心）から出る光線のうち、光学系の指定される面の順に光学系を通り、光学系内に定義される絞り中心を通る光線を基準光線として設定する。このようにして定義される基準軸は一般的には折れ曲がっている形状となる。（図43参照）

★Off-Axial光学系の定義

上記のように定義した基準軸が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない曲面(Off-Axial曲面)を含む光学系をOff-Axial光学系と定義し、その例を図43に示す。（但し、平面反射面によって基準軸が単純に折れ曲がっている場合も面法線が基準軸と一致しないが、その平面反射面は収差の対称性を損なわないので、Off-Axial光学系の対象から除外する。）この定義は共軸光学系の一部が大きく偏心した光学系も含むが、一般的非対称非球面の系では“偏心”の“心”的意味の対称性を持った点や線が存在しないため“偏心”という言葉はあえて用いず、Off-Axialという言葉を用いることにする。

【0050】1-2. Off-Axial光学系の構成面に適した面形状

表現方法

Off-Axial光学系を構成する面は一般に対称性を持たない。対称性を持たない面の表現法としては展開の中心に対する2次元べき級数展開が最も一般的である。ここでは展開の中心は面と基準軸との交点とし、その面形状を表現するローカル座標系としては面法線にz軸をあわせたものを用いる。そして形状を表わす式をz=f(x, y)の形に表現する。その際その点での面法線が、面形状の変化に伴っても変化しないように展開は2から始めるようになる。つまり

展開の座標系とそこで用いる諸量を示す。反射は屈折率が負の屈折と一般化できるので展開は屈折系で考えることにする。この図において物体側、像側とともに基準軸に沿ってlocal座標系がとられ、物体面、像面、入射瞳面、射出瞳面を基準軸に垂直に図に示すように定義する。面形状は前項で述べたように面法線に沿ったlocal座標系で表現されている。このとき物線ベクトルb、入射瞳上の高さベクトルrを通る光線を考え、この物線ベクトルb、高さベクトルrが微小量として屈折の法則をべき級数展開することを考える。その手順は
i) .光線の方向ベクトルsを図中の距離s, b (物線ベクトルbの絶対値) およびt (物線ベクトルbのアジムス; ただし基準軸の屈折面をt=0とする)、距離t, r

21

(高さベクトル r の絶対値) および $\xi = \xi + \phi$ (高さベクトル r のアジムス; ϕ は相対アジムス) を用いて表わす。

[0053] ii). i) で求めた始点ベクトルと方向ベクトルおよび面形状の式を使って屈折面上の交点を求める。

[0054] iii). ii) の交点における面法線ベクトル n をベクトル解析の手法で求める。

[0055] iv). iii) の結果と屈折の法則を用い、その交点における屈折後の方向ベクトル s' を求める。

[0056] v). 屈折面上の位置と屈折後の方向ベクトル s' とがわかったので距離 s' , t' が与えられれば像線ベクトル b' 、射出瞳上の高さベクトル r' が求まる。この手順による像線ベクトル b' の距離 b , r の1次量までの展開結果を数式2, 数式3に示す。但し ξ' は像面での像線の理想アジムスで $\xi' = \xi$ ととられる。この結果において像線ベクトル b' は図46に図示してあるように

$$b' = \beta b + \Delta_1 + \Delta_2 \quad (\text{数式4})$$

の形に成分に分解して表現してある。但し $\beta b + \Delta_1$ はアジムス ξ に対する平行成分ベクトル (β は後述の数式11で決められる投影の横倍率) 、 Δ_2 は垂直成分ベクトルを表わす。

*

* [0057] 3.Off-Axial光学系での結像の式と屈折の近軸量の導出

3-1 Off-Axial光学系での結像の式の導出

数式2と数式3の結果を使って近軸関係を求める場合は物高 b は0とおいてよい。従って Δ_1 と Δ_2 の r の1次の比例係数を調べればよいわけであるが、系の回転非対称性のために近軸光線が基準軸に対してねじれの位置にあることを反映して、これら2つの係数はアジムスを依存を持ち一般的には同時に2つの係数を0とすることはできない。一般にこうした近軸光線が基準軸に対してねじれの位置にあるアナモルフィックな光学系では、光路をアジムス断面に投影した Δ_1 の係数=0により結像共役関係式と近軸量を定義し、 Δ_2 に対し、 Δ_2 の係数=0の式から結像共役関係式を求めるとはいっても一般に相対アジムス $\phi=0$ の光線(メリディオナル光線に対応)と $\phi=\pi/2$ の光線(サジタル光線に対応)とでは結像位置が異なる(いわゆる非点収差を持つ)ことをこの係数の式は示している。この軸上の非点収差に対し本理論では相対アジムス $\phi=0$ の場合の結像面を近軸像面と定義し、 $\phi \neq 0$ の場合は軸上非点収差が残るとして理論を構築することにする。そうした像面の定義により投影された結像関係式として

$$\begin{aligned} N'(\cos\theta' \cos\xi' \cos\xi + \cos\theta' \sin\xi' \sin\xi) / (s' \cos\theta) - N(\cos\theta' \sin\xi' \sin\xi \\ + \cos\theta' \cos\xi' \cos\xi) / (s \cos\theta) - 2(N' \cos\theta' - N \cos\theta) \{\cos\xi' \cos\xi C_{11} \\ + (\cos\theta' \sin\xi' \cos\xi + \cos\theta' \cos\xi' \sin\xi) C_{12} \\ + \cos\theta' \cos\theta' \sin\xi' \sin\xi C_{22}\} / (\cos\theta \cos\theta') = 0 \quad (\text{数式5}) \end{aligned}$$

$$\beta = \alpha/\alpha' = N s' D / (N' s) \quad (\text{数式11})$$

と与えられることも示すことができる。

[0061] ここで数式8から数式11に示された近軸量は従来の共軸系の近軸量の一般拡張になっていることは注目に値する。これはこれらの式に共軸、回転対称の条件の $\theta = \theta' = 0$, $C_{11} = 0$, $C_{22} = C_{12} = 1/(2r)$ (r は曲率半径)を代入すれば共軸系の場合の式が得られることで容易に確かめることができる。

[0062] 4.近軸トレース

4-1 転送のガウシャンプラケット

以上のようにOff-Axial系の各面においてガウシャンプラケットを用いた手法で屈折の近軸量を定義できたが、複数の面から構成される系においては面と面との間の転送項を定義しておく必要がある。Off-Axial系の場合も簡単な幾何学的考察により、基準軸上に沿って長さ d' を定義すれば従来と同様に換算面間隔 $e' = d' / N'$ を用いて

[0063]

【数18】

$$\begin{pmatrix} 1 & -e' \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (\text{数式12})$$

50 の形でガウシャンプラケットを使った表現ができるこ

が求まるが、これは s , s' を t , t' に変えるだけで瞳面の結像式となるので、従来の共軸系の一般拡張となる合理的な定義であることがわかる。

[0058] 3-2 屈折面の近軸量の導出とガウシャンプラケットによる屈折の式の表現

次にこの投影された結像関係式を従来の共軸系での結像の式

$$(N' A)/s' - (ND)/s - \Phi = 0 \quad (\text{数式6})$$

と比較することを考える。ここで A , D は

[0059]

【数17】

$$\begin{pmatrix} h' \\ \alpha' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h \\ \alpha \end{pmatrix} \quad (\text{数式7})$$

で示される屈折のガウシャンプラケットの対角成分、 Φ はパワーを表わす(但し成分の $B=0$, $AD=1$ の場合)。

[0060] ただちにわかる通りこれら2つの式は全く同じ形式をしているので、比較によりこの結像式に対応するOff-Axial屈折面の近軸量を決定することができるのである。つまり近軸光線を投影して考えれば共軸系の場合と同様に各アジムス毎に近軸量の計算ができるようになる。その結果の A , D , Φ を数式8から数式10に示す。

また屈折面での投影の横倍率は

がわかる。従ってOff-Axial面が複数ある系においても従来と同様にアジムス毎に近軸トレースが可能である。つまりOff-Axial光学系全体の骨組みも共軸系の場合と同様に近軸的に解析できるわけである。

【0064】4-2 近軸トレースの手法

3-2 で求まった屈折の式

$$h_v' = A_v h_v \quad (\text{式}13)$$

$$\alpha_v' = \Phi_v h_v + D_v \alpha_v \quad (\text{式}14)$$

と、4-1 で求まった転送の式

$$h_{v+1} = h_v - e_v \alpha_v \quad (\text{式}15)$$

$$\alpha_{v+1} = \alpha_v \quad (\text{式}16)$$

を使えば共軸系の場合と同様の近軸トレースが可能である。共軸系と違うのは屈折の式の A_v と D_v が一般に1ではないことと A_v 、 D_v 、 Φ_v がアジムス依存があることである。従って各アジムスごとの近軸量を計算すれば近軸量のアジムス依存性を調べることが可能である。

【0065】以下にある与えられたアジムス々に対する近軸トレース計算のフローを示す。

【0066】i). s_i などの与えられた光学系のデータに対し近軸追跡の初期値 h_i 、 α_i ($\alpha_i = N_i h_i / s_i$) を設定する。

【0067】ii). 屈折面での近軸量 A_v 、 Φ_v 、 D_v を求めること。

【0068】iii). 屈折の式を使って h_v' 、 α_v' を求めること。

また必要があれば s_v 、 s_v' や屈折面での横倍率 β_v を

$$s_v = N_v h_v / \alpha_v \quad (\text{式}17)$$

$$s_v' = N_v' h_v' / \alpha_v' \quad (\text{式}18)$$

$$\beta_v = \alpha_v / \alpha_v' \quad (\text{式}19)$$

を使って求める。

【0069】iv). 面番号 v が最終面のものでなければ転送の式を用いて h_{v+1} 、 α_{v+1} を求める。

【0070】v). 面番号 v が最終面の番号 k になるまで i) から iv) までを繰り返す。

【0071】vi). 以上の計算で求められた面番号 v が最終面の番号 k での h_k' 、 α_k' が常に

$$h_k' = Ah_k + B \alpha_k \quad (\text{式}20)$$

$$\alpha_k' = \Phi h_k + D \alpha_k \quad (\text{式}21)$$

を満たすように全系のガウシャンプラケットの成分 A 、 *

$$C_{12} = (1/a+1/b) \cos \theta / 4, \quad C_{10} = (1/a+1/b) / (4 \cos \theta), \quad C_{01} = 0$$

が得られ容易に確かめることができる。またこの図の場合においては a, b を 2 つの焦点と面頂点との距離とすれば反射面のパワーは直観的に $1/a+1/b$ と理解されるが、このことも同時に(式10)を使った計算にて確かめることができる。

【0078】★Off-Axial屈折面

Off-Axial屈折面は反射面のように簡単にはならない。これはガウシャンプラケットの対角要素 A 、 D が 1 ではない ($A=1/D \neq 1$ なる逆数関係) ためである。しかしながらこのことも屈折面を平面にして考えれば理解可能であ

* B 、 Φ 、 D を求める。

【0072】vii). 求まった全系の A 、 B 、 Φ 、 D を用いて焦点距離 f 、 主点位置 H 、 H' およびバックフォーカス s_i' を共軸系と同様の式

$$f = 1 / \Phi \quad (\text{式}22)$$

$$\Delta_1 = (1-D) / \Phi \quad H = N_1 \Delta_1 \quad (\text{式}23)$$

$$\Delta_1' = (A-1) / \Phi \quad H' = N_1' \Delta_1' \quad (\text{式}24)$$

$$s_i' = N_1' (f + \Delta_1') \quad (\text{式}25)$$

により求める。

10 【0073】(図4-7 参照: F は物体側焦点、 H は物体側主点、 F' は像側焦点、 H' は像側主点を表わす)

viii). 全系の横倍率 β を

$$\beta = \alpha_1 / \alpha_k' \quad (\text{式}26)$$

により求める。

【0074】5. 簡単な面での分析・確認

ここで簡単な面について求まった近軸理論の適用を考える。

【0075】★Off-Axial反射面

HMD などで多用される Off-Axial 反射面においては $\theta = -\theta'$ であるのでガウシャンプラケットの A 、 D が 1 と共に軸系と同じになる。この場合反射面のパワーは曲率のほかに入射角 θ およびアジムス々に依存するアナモルフィックなものとなる。ここで更に曲率に比例する面形状の係数 C_{11} 、 C_{12} 、 C_{22} が

$$C_{11} = 0, C_{12} = C_{21}, C_{22} = C_{11} \cos^2 \theta \quad (\text{式}27)$$

を満たす様に選ばれれば反射面のパワーがアジムス々に依存しないようになることができる。

【0076】つまり、 Off-Axial 反射面においては y, z 方向の面形状の係数が $C_{11} = 0$ 、 $C_{12} = C_{21} = C_{11} \cos^2 \theta$ を満たす

30 ように選ぶことで近軸的には共軸回転対称系と同様な扱いができるようになる。

【0077】特に図4-8に示すような基準軸が 2 焦点を通る Off-Axial 反射 2 次曲面では一般にこの関係が満たされている。このことはこの図の系の面頂点における曲率を求めてやれば、あるいは後述する基準軸が 2 焦点を通る Off-Axial 射 2 次曲面の一般式(式28)をべき級数に展開して(式1)の形にして係数を比較することにより、

る。屈折面が平面の場合屈折面のプリズム効果により系はアジムス依存性を持った角倍率を持つが、これは一般にガウシャンプラケットの D として表わされる。このことを念頭において考えれば一般的 Off-Axial 屈折面のガウシャンプラケットの各成分は Off-Axial な屈折によるプリズム効果と曲面によって生じたパワー変化との複合された項であると理解することができる。

【0079】6. 設計への応用

以上述べてきたようにして構築される Off-Axial 系の近軸理論と近軸トレースの手法は Off-Axial 系の設計の際

25

に応用することができる。一般に倍率がアジムスに依存しない等方的結像の場合、全系ではすべての近軸量がアジムス依存がないと考えられるので、設計は例えば次のような手順で行なえばよい。

【0080】i).光学系を光路の干渉などを考慮しつつ、折れ曲がった基準軸に沿って配置する。

【0081】ii).次にガウシャンプラケットの手法を用いてアジムス毎に近軸トレースを行ない、全系の近軸量・像面位置がアジムス依存を持たないように各面の曲率を決めてやる。

【0082】このような近軸量のアジムス依存性に着目した設計手法は今までになかった考え方であり、Off-Axial系の設計に大きな指針を与えるものである。

【0083】以上がOff-Axial光学系に対する近軸理論およびそれを用いた光学系の骨組みの設計方法についての解説である。

【0084】以上の理論の中で説明してきたような表現で表現された面表現方法を用いれば、こうした光学系(Off-Axial光学系)に対する解析理論(Off-Axial近軸理論)を構築することができる。またOff-Axial光学系の各面の形状を変化させて光学系としての性能を最適化する場合、使用する面の部分の中心を結ぶ線の折れ曲がり方や近軸量(光学系の骨組み)を固定したままで面形状を最適化することができるようになる。

【0085】またこの面形状表現方法を用いて構築された理論は従来の共軸系の近軸理論を完全に包含する形としてまとめあげることができるので、その理論を用いた計算処理方法ならびに処理装置を採用すれば、Off-Axial光学系においても光学系の設計の際に一般的に焦点距離や倍率を計算することができるようになる。

【0086】さらにこの構築されたOff-Axial近軸理論により可能となったOff-Axial光学系の近軸トレースの手法を使って全系あるいはズームレンズのブロックといった複数面から成るブロックの近軸量がほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状を決定するという計算処理方法ならびに処理装置を採用すれば、Off-Axial光学系においても光学系の形状決定という設計作業が効率的に行なえるという作用を持つ。

【0087】さらにこの構築されたOff-Axial近軸理論により反射面に対して導き出される条件式、(数式27)をそのOff-Axial光学系を構成するOff-Axial曲面の反射面が満たすべき面の形状の制限式として採用すれば、Off-Axial光学系においても光学系の近軸量が各面でアジムス依存性を持たず、近軸理論上は共軸系の回転対称面と全く同様に扱うことができるという作用を持つ。

【0088】次に本発明の具体的な各実施例について説明する。図1は本発明の一実施例に係る処理装置のブロック図である。図において、11は装置全体の制御を司るCPU、13はCPU11において実行されるプログラム等が格納されるROMと、この実行の際のワーキングエリアとし

26

て用いられるRAMを含むメインメモリ、14はキャラクタ情報、制御情報等を入力するためのキーボード、15はポインティングデバイスとしてのマウス、16はキーボード14およびマウス15と本装置との間で信号接続を行なうためのキーインターフェイスである。

【0089】17はローカルエリアネットワーク(LAN)18と本装置を接続するLANインターフェイス、19はROM、SRAM、RS232C方式インターフェイス等を有した入出力装置(以下「I/O」という)である。I/O19には各種外部機器を接続可能である。20、21は外部記憶装置としてのハードディスク装置およびフロッピーディスク装置、22はハードディスク装置20およびフロッピーディスク装置21と本装置との間で信号接続を行なうためのディスクインターフェイスである。23はインクジェットプリンタ、レーザービームプリンタ等によって構成されるプリンタ、24はプリンタ23と本装置との間で信号接続を行なうためのプリンタインターフェイスである。25は表示装置であり、26は表示装置25と本装置との間で信号接続を行なうための表示インターフェイスである。12は、上記各機器間を信号接続するためのデータバス、コントロールバス、アドレスバスからなるシステムバスである。

【0090】本実施例においては、CPU11が、あらかじめメインメモリ13のROM部に格納された処理手順を読み出し実行するものである。そして各処理により得られる値は、それぞれメインメモリ13のRAM部に格納されるものである。

【0091】図2は、本発明の近軸量計算に対する実施例の処理動作の一例を示すフローチャートである。そのフローは上記4-2の項で詳しく説明した近軸トレース方法に則ったものである。そしてアジムス依存性の計算は1つのアジムスに対する計算が終わったあと、別のアジムスについて計算するというフローである。

【0092】図3に本発明の近軸量計算に対する実施例の他の処理動作の一例を示す。図2のフローが1つのアジムスごとに近軸追跡するフローであるのに対し図3のフローはいくつかのアジムスでの近軸追跡を並列的に行なっている。

【0093】図4に本発明の近軸量計算に対する実施例のさらに別の処理動作の一例を示す。このフローではガウシャンプラケットの手法に則り、屈折の式、転送の式を行列を用いて表わし、行列の計算を行なうことによって全系の近軸量A、B、C、Dあらわすガウシャンプラケットのマトリックスを求めている。アジムスごとの計算は図3の時と同様の並列的の処理であるが、図2のような個別処理を繰り返す手法をとってもよい。

【0094】図5にOff-Axial光学系のOff-Axial面の形状の計算をしその結果を表示装置に表示あるいはプリンターに出力する計算処理方法ならびに処理装置(装置としては図1と同じ図になるので省略する)に対する実施例の処理動作のフローチャートの一例を示す。

【0095】ここではOff-Axial光学系のOff-Axial面の面形状が基準軸とその面の交点を原点とし、その点での面法線をひとつの座標軸(z軸)とした座標系で表現されていることが重要なので、もしそのような表示になつていなければ上記理論の項で説明した原則に則り基準軸を設定して、面形状を基準軸とその面の交点を原点とし、その点での面法線をひとつの座標軸(z軸)とした座標系に変換してから面形状の具体的な形状を計算する。

【0096】こうした座標系で記述することにより、Off-Axial光学系の近軸量が計算できるようになるという効果のはかに、こうした座標系に則って面形状を具体的に計算することは、光線が通り実際に使われる部分の面形状を理解しやすくなるとともに面の加工データを作成する上でも面形状を測定する際でも便利である。

【0097】図6にはOff-Axial光学系の近軸トレースの手法を使って全系あるいはズームレンズのブロックといった複数面から成るブロックの近軸量がほぼアシムス依存性がないように各構成面の形状を決定するという計算処理方法ならびに処理装置としては図1と同じ図になるので省略する)に対する実施例の処理動作のフローチャートの一例を示す。

【0098】ここで変化させてよい変数とは、基準軸の配置が固定の場合は主として面形状を表わす係数であり、基準軸の配置を変化させてもよい場合は更に面間隔、基準軸と面法線のなす角度、硝材などもとることができる。ターゲットの近軸量としては全系のパワー₀(あるいはその逆数の焦点距離)、全系の横倍率、主点位置、バックフォーカスなどをとることができる。この図に示されたフローを達成するのには、DLS法や直交化法といった最適化の手法を用いた自動設計を用いれば効率がよい。

【0099】次に以上説明してきた処理動作のフローに従って処理され出力された結果の実施例を示す。出力は図1における25の表示装置になされてよいし、23のプリンタよりプリントアウトされてもよい。

【0100】まず本発明の実施例1について説明する。

【0101】図7に断面図が示されている実施例1のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表1に示す(尚、表1は実施例の最後に一括表示している。他の表についても同様である。)。

【0102】ここで表1に示されたデータの座標系を図8を使って説明する。この図においてOff-Axial光学系を物体側から像面に進む1つの光線(図8中の一点鎖線で示すもので基準軸光線と呼ぶ)に沿って順番にi番目の面を第i面とする。そして光学系はOff-Axial光学系であるため光学系を構成する各面は共通の光軸を持っていない。

【0103】そこで、図中においては先ず第1面の光線有効径の中心を原点とする絶対座標系を設定する。そして第1面の光線有効径の中心点を原点と共に、原

点と最終結像面の中心とを通る光線(基準軸光線)の経路を光学系の基準軸と定義している。さらに、本実施例中の基準軸は方向(向き)を持っている。その方向は基準軸光線が結像に際して進行する方向である。基準軸は、光学系の外から見た場合には光軸と同様な取り扱いができる。

【0104】そして、次に各実施例の光学系を構成するチルト面は基本的にすべてが同一面内でチルトしている。そこで、絶対座標系の各軸を以下のように定める。

10 【0105】Z軸:原点を通り第2面に向かう基準軸
Y軸:原点を通りチルト面内(図8の紙面内)でZ軸に対して反時計回りに90°をなす直線
X軸:原点を通りZ,Y各軸に垂直な直線(図8の紙面に垂直な直線)

又、光学系を構成する第i面の面形状を表すには、絶対座標系にてその面の形状を表記するより、基準軸と第i面が交差する点を原点とするローカル座標系を設定して、ローカル座標系でその面の面形状を表した方が形状を認識する上で理解しやすい為、本発明の構成データを表示する実施例では第i面の面形状をローカル座標系で表わす。

【0106】また、第i面のYZ面内でのチルト角は絶対座標系のZ軸に対して反時計回り方向を正とした角度θ_i(単位°)で表す。よって、本発明の実施例では各面のローカル座標の原点は図8中のYZ平面上にある。またXおよびXY面内での面の偏心はない。さらに、第i面のローカル座標(x,y,z)のy,z軸は絶対座標系(X,Y,Z)に対してYZ面内で角度θ_i傾いており、具体的には以下のように設定する。

30 【0107】z軸:ローカル座標の原点を通り、絶対座標系のZ方向に対しYZ面内において反時計方向に角度θ_iをなす直線
y軸:ローカル座標の原点を通り、z方向に対しYZ面内において反時計方向に90°をなす直線
x軸:ローカル座標の原点を通り、YZ面に対し垂直な直線
また、Diは第i面と第(i+1)面のローカル座標の原点間の間隔を表すスカラー量、Ndi、Nd_iは第i面と第(i+1)面間の媒質の屈折率とアッペ数である。

40 【0108】なお実施例中には通常一般に球面(この実施例1にはたまたま含んでいない)び回転非対称の非球面を有している。その内の球面部分は球面形状としてその曲率半径r_iを記してあらわす。数値実施例においては、曲率半径r_iの符号は、曲率中心がローカル座標のz軸プラス方向にある場合をプラスとし、z軸マイナス方向にある場合をマイナスとする。

【0109】また、実施例中の光学系は少なくとも回転非対称な非球面を一面以上有し、その形状は式1とは基本的には同じだが、二項係数がついてない点で多少異なった以下の式により表わされている:

$$z = C_{0,1}y^2 + C_{1,0}x^2 + C_{0,2}y^3 + C_{2,0}x^3 + C_{0,3}y^4 + C_{3,0}x^4 \quad (\text{式30})$$

(但し近軸量を計算するのに必要な $C_{0,1}$ と $C_{1,0}$ は式数1と全く同じである)上記曲面式は x に関して偶数次の項のみであるため、上記曲面式により規定される曲面はyz面を対称面とする面对称な形状である。さらに以下の条件が満たされる場合はxz面に対して対称な形状を表す。

【0110】 $C_{0,1} = C_{1,0} = 0$

さらに

$$C_{0,2} = C_{2,0}, \quad C_{0,4} = C_{4,0} = C_{2,2}/2$$

が満たされる場合は回転対称な形状を表す。以上の条件を満たさない場合は非回転対称な形状である。

【0111】なおこうした座標系の設定方法は以下の実施例においても同様であるので以下の実施例においては説明を省略する。

【0112】この実施例1のOff-Axial光学系は反射面のみで構成された単焦点の結像系である。(像面の位置に表示素子を置き、絞り位置を瞳位置と考えれば表示光学系とも考えることができる。)ここでこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式は面のベースがどのような面かわかりやすいように図48の、3つのパラメータ-a, b, t(図48のθに相当する角度;ここでtが基準軸の反射角に等しい時基準軸は2焦点を通る)で表わしたOff-Axial2次曲面をベースにし、多項式項を加えた(式28)で表現してある。

【0113】この表現は一般的な2次曲面が表わせて便利な表現である。そしてその形状の式を使って計算した第2面から第6面までの面形状の数値出力例を表2に示す。そしてその数値計算結果をもとに面形状を直観的にわかりやすようにグラフィカルに表現すると例えば第2面の場合は図9のようになる。

【0114】こうした基準軸との交点を原点とし z 軸を面法線と一致させた式28の表現、またはより一般的表現の式数1による表現は、従来の「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」とは異なり、実際光線があたり使用される部分の表現の原点が使用される部分の中にあらためて実際の面の加工、測定の際に座標変換する必要がない。なお加工上のメリットがある面形状の表現方法としては一般回転2次曲面の(式28)の表現のほかに、この実施例中にはないが、(式29)に示されるアナモルフィック光学系に対するトーリック面をベースとした式もトーリック面の加工が一般に全く対称性のない面の加工に比べて易しいことから有用である。

【0115】次にこのOff-Axial光学系のパワー中および横倍率の近軸量の各面での値、および全系での値を上記近軸計算のフローに則って計算した結果を表3に示す。なお、ここでの各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の展開係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした式28をさらにべき級数展開して平面ベースの式の形に変換したものである。

【0116】更に各面のパワー及び全系のパワーのアシ

ムス依存性を計算しそのアシムス依存性をグラフとして表現したものを図10に、全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアシムス依存性を計算しそのアシムス依存性をグラフとして表現したものを図11に示す(なお図11では残存アシムス依存性がわかりやすいようにスケールを拡大して描いてある。)。

【0117】図10においては各面のパワーのアシムス依存性が小さい面が多いが、このことは表3において $C_{0,1}$ と $C_{1,0} \cos^2 \theta$ の比が1に近い値を持つ面(ほぼ(式27)の反射面がアシムス依存性を持たない条件をみたす面)多いことに対応している。このように近軸量がアシムス依存性を持つOff-Axial学系の場合、アシムス依存の計算結果を表またはグラフとして表示しておくことはその光学系の近軸的特徴を理解する上で有効である。

【0118】なおこの実施例は、高次の収差とのバランスとの関連で近軸量がまだ多少のアシムス依存性を残しているものの、全系の焦点距離(パワー)や横倍率ができるだけアシムス依存性を持たないように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計の一例であり、全系のパワーや横倍率のアシムス依存性が小さいのに対応して、図12のスポットダイグラム(最大像高の1/4の範囲;微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている)、図13のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0119】次に本発明の実施例2について説明する。
【0120】図14に断面図が示されている実施例2のOff

Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表4に示す。

【0121】このOff-Axial光学系は反射面と共軸の屈折面で構成された単焦点の結像系である。(この系も像面の位置に表示素子を置き、絞り位置を瞳位置と考えれば表示光学系とも考えることができる。)ここでもこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては(式28)を使って表現してある。

【0122】次にこのOff-Axial光学系のパワー中および横倍率の近軸量の各面での値、および全系での値を上記計算のフローに則って計算した結果を表5に示す。なお、ここでの各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした(式28)をさらにべき級数展開して平面ベースの(式1)の形に変換したものである。

【0123】更に上記計算値のうち、各面および全系でのパワー中のアシムス依存性をグラフとして表現したものを図15に、全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアシムス依存性をグラフとして表現したものを図16に示す。(なお図16では残存アシムス依存性がわかりやすいようにスケールを拡大して描いてある。)

31

図15においては各面のパワーのアジムス依存性が小さい面が多いが、このことは表5において C_{α_2} と $C_{\alpha_2} \cos^2 \theta$ の比が1に近い値を持つ面(ほぼ(数式2)の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面)が多いことに対応している。

【0124】この実施例ではこれらの図からもわかるように全系としては近軸量のアジムス依存性は押さえられている。こうした設計は、全系の焦点距離(パワー)や横倍率ができるだけアジムス依存性を持たないように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計の一例であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性が小さいのに対応して、図17のスポットダイグラム(最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている)、図18のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0125】次に本発明の実施例3について説明する。
【0126】図19に断面図が示されている実施例3のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表6に示す。

【0127】このOff-Axial光学系はOff-Axial反射面とOff-Axial屈折面の両方を用いて構成された単焦点の結像系である。(この系も像面の位置に表示素子を置き、絞り位置を瞳位置と考えれば表示光学系とも考えることができる。)ここでもこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては(数式28)を使って表現してある。ここで第5面から第12面の屈折面はすべて球面ではあるが、その曲率中心は表6の面頂点の位置、面法線の方向角データからわかるように必ずしも同一直線上にないので、基準軸を絞り中心と像面中心を通る基準波長の光線の光路とした時、これらの面はOff-Axial屈折面となっている。

【0128】次にこのOff-Axial光学系の各面および全系でのパワー、横倍率、そして全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を上記計算のフローに則って計算した結果を表7に示す。なお、ここでの各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした数式28をさらにべき級数展開して平面ベースの数式1の形に変換したものである。

【0129】更に上記計算値のうち、各面および全系でのパワー中のアジムス依存性をグラフとして表現したものを図20に、全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性をグラフとして表現したものを図21に示す。(なお図21では残存アジムス依存性がわかりやすいようにスケールを拡大して描いてある。)
図20においては各面のパワーのアジムス依存性がある面、小さい面とともに含むが、小さい面については、表7において C_{α_2} と $C_{\alpha_2} \cos^2 \theta$ の比が1に近い値を持つ面

32

(ほぼ(数式27)の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面)に対応している。

【0130】この実施例ではこれらの中からもわかるように全系としては近軸量のアジムス依存性は押さえられている。こうした設計は、全系の焦点距離(パワー)や横倍率ができるだけアジムス依存性を持たないように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計の一例であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性が小さいのに対応して、図22のスポットダイグラム(最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている)、図23のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0131】次に本発明の実施例4について説明する。
【0132】図24に断面図が示されている実施例4のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表8に示す。このOff-Axial光学系はOff-Axial反射面と共軸の屈折面(平面)を用いて構成されたズームの可能な結像系であり、絞り面の第1面を第1ブロック、第2面から第6面を第2ブロック、第7面から第11面を第3ブロック、第12面から第16面を第4ブロックとしたとき、第2ブロックと第3ブロックの間隔、第3ブロックと第4ブロックの間隔を可変としてズームを行なっている。ここではこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては(数式30)の平面ベースの式を使って表現してある。

【0133】次にこのOff-Axial光学系のパワー中および2つの主点位置の各ブロックごとのアジムス依存性の計算値、および全系での焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性の計算値を広角端、中間位置、望遠端の3つのステートに対して上記計算のフローに則って計算した結果を表9に示す。そしてそれらの結果のグラフを図25および図26に示す。(なお図26では残存アジムス依存性がわかりやすいようにスケールを拡大して描いてある。)

なお、この例では各面のパワーのアジムス依存性のグラフはブロックごとのアジムス依存性のグラフを表示したため省略したが、表8の値を用いて計算すれば他の実施例同様に描くことができる。その際 C_{α_2} と $C_{\alpha_2} \cos^2 \theta$ の比が1に近い値を持つ面(ほぼ(数式27)の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面)を含むことは表9の数値計算を参照することによって確かめることができる。

【0134】また図14でわかるように、この実施例は各ブロックのパワーもほぼアジムス依存性がないような設計になっている。このためブロック間隔を変化させても全系のパワーがすべてのステートでアジムス依存性がほとんどないようにできる。

【0135】なお図25ではわからない位だがスケールが

拡大された図26ではわかる程度の残存のアジムス依存性は高次の収差とのバランスとの関連で残っていると思われるが、この光学系も、各ブロックや全系の焦点距離（パワー）や横倍率ができるだけアジムス依存性を持たないように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計による一例であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性が小さいのに対応して、図27のスポットダイグラム（最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている）、図28のディストーション（最大像高の1/4の範囲）の図からもわかるように各ステップともに基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0136】次に本発明の実施例5について説明する。
【0137】図29に断面図が示されている実施例5のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表10に示す。

【0138】このOff-Axial光学系は反射面だけで構成された単焦点の結像系である。（この系も像面の位置に表示素子を置き、絞り位置を瞳位置と考えれば表示光学系とも考えることができる。）ここでもこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては（式28）を使って表現している。ただしここでの各面は（式28）の多項式部分が存在するので厳密なOff-Axial2次曲面ではないが、多項式部分に2次の項がないので曲率的にはそれと同等となっておりしかもベースになっているOff-Axial2次曲面の2焦点は基準軸上にあるので、（式27）の条件を満たしている。従って近軸的にはこれらの反射面は完全にアジムス依存性がなく、あたかも共軸系のように取り扱うことが可能である。

【0139】次にこのOff-Axial光学系のパワー中および横倍率の近軸量の各面での値、および全系での値を上記計算のフローに則って計算した結果を表11に示す。予想通りどちらの量も全くアジムス依存性がない。なお、ここでの各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした（式28）をさらにべき級数展開して平面ベースの（式1）の形に変換したものである。

【0140】更に図30に各面のパワー及び全系のパワーのアジムス依存性をグラフとして表現したものを示す。この図からわかるように、この系は各面、全系ともに全くアジムス依存性を持っていない。なおこの光学系は更に高次の収差が小さくなるように各面の高次の係数を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性がないのに対応して、図31のスポットダイグラム（最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている）、図32のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0141】次に本発明の実施例6について説明する。
【0142】図33に断面図が示されている実施例6のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表12に示す。

【0143】このOff-Axial光学系はOff-Axial反射面と共軸の屈折面で構成された単焦点の結像系である。この光学系は実施例1から3や5の光学系とは異なり、物体距離が有限の有限結像系である。ここでもこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては（式28）を使って表現している。ただしここでの各反射面は（式28）の多項式部分がないので厳密なOff-Axial2次曲面となっておりしかもその2焦点は基準軸上にあるので、（式27）の条件を満たしている。従って近軸的にはこれらの反射面は厳密にアジムス依存性がなく、あたかも共軸系のように取り扱うことが可能である。

【0144】次にこのOff-Axial光学系の各面および全系でのパワー中、横倍率、そして全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を上記計算のフローに則って計算した結果を表13に示す。予想通りどの近軸量も全くアジムス依存性がない。なお、ここでの各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした（式28）をさらにべき級数展開して平面ベースの（式1）の形に変換したものである。

【0145】更に図34に各面のパワー及び全系のパワーのアジムス依存性をグラフとして表現したものを示す。この図からわかるように、この系は各面、全系ともに全くアジムス依存性を持っていない。なおこの光学系は高次の収差が小さくなるように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計の一例であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性がないのに対応して、図35のスポットダイグラム（最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている）、図36のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0146】次に本発明の実施例7について説明する。
【0147】図37に断面図が示されている実施例7のOff-Axial光学系の仕様、各面の配置、特性、面形状のデータを表14に示す。

【0148】このOff-Axial光学系はOff-Axial反射面のみで構成された単焦点の結像系である。（この系も像面の位置に表示素子を置き、絞り位置を瞳位置と考えれば表示光学系とも考えることができる。）ここでもこの光学系を構成している非球面の面形状を表わす式としては（式28）を使って表現している。

【0149】次にこのOff-Axial光学系の各面および全系でのパワー中、横倍率、そして全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を上記計算のフローに則って計算した結果を表15に示す。なお、ここ

での各面での近軸量の計算の際に使う面形状の式の係数は、Off-Axial2次曲面をベースにした数式28をさらにべき級数展開して平面ベースの数式1の形に変換したものである。

【0150】更に上記計算値のうち、各面および全系でのパワー中のアジムス依存性をグラフとして表現したものを図38に、全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性をグラフとして表現したものを図22に示す。(なお図39では残存アジムス依存性がわかりやすいようにスケールを拡大して描いてある。)

図38においては各面のパワーのアジムス依存性がある面、小さい面とともに含むが、小さい面については、表7において C_{z1} と $C_{z1} \cos^2 \theta$ の比が1に近い値を持つ面(ほぼ(数式27)の反射面がアジムス依存性を持たない条件をみたす面)に対応している。

【0151】この実施例では実施例5や6とは異なって、各面の近軸量にはアジムス依存性を持っているものがあるものの、全系としては近軸量のアジムス依存性は押さえられている。こうした設計は、全系の焦点距離(パワー)や横倍率ができるだけアジムス依存性を持たないように各面の曲率を自動設計の手法により最適化をかけて求めた設計の一例であり、全系のパワーや横倍率のアジムス依存性が小さいのに対応して、図40のスポットダイグラム(最大像高の1/4の範囲；微細構造がわかるように拡大されている。スポットの大きさは0.1mm以下にはなっている)、図41のディストーションの図からもわかるように基準軸近傍で非点収差やディストーションの少ない光学系となっている。

【0152】

【外1】

$$\Delta_1 = r \begin{pmatrix} s(\cos\theta'\cos\zeta'\cos(\xi+\phi)-\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi))/(\cos\theta'(s-1)) & -s'N(\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi)+\cos\theta'\cos\xi'\cos(\xi+\phi))/(N'\cos\theta'(s-1)) \\ -2s'i(N'\cos\theta'-N\cos\theta)(\cos\xi'\cos\theta'\cos\xi'+\cos\theta'\sin\xi'\cos(\xi+\phi)+\cos\theta'\cos\xi'\sin(\xi+\phi))C11 + (\cos\xi'\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi)+\cos\theta'\cos\xi'\sin(\xi+\phi))C20 \\ /N'\cos\theta'\cos\theta'(s-1) \end{pmatrix}^{37}$$

(20)

(数式2)

$$\Delta_1 = r \begin{pmatrix} s(\cos\theta'\cos\xi'\cos(\xi+\phi)-\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi))/(\cos\theta'(s-1)) & -s'N(\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi)+\cos\theta'\cos\xi'\cos(\xi+\phi))/(N'\cos\theta'(s-1)) \\ -2s'i(N'\cos\theta'-N\cos\theta)(\cos\xi'\cos\theta'\cos\xi'+\cos\theta'\sin\xi'\cos\xi'+\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi')C11 + (\cos\xi'\cos\theta'\sin\xi'\sin\xi'+\cos\theta'\cos\xi'\sin\xi')C20 \\ /N'\cos\theta'\cos\theta'(s-1) \end{pmatrix}$$

 $\Delta_{\perp} = -\partial\Delta_1/\partial\xi'$

$$\Delta_{\perp} = r \begin{pmatrix} s(-\cos\theta'\sin\xi'\cos(\xi+\phi)+\cos\theta'\cos\xi'\sin(\xi+\phi))/(\cos\theta'(s-1)) & -s'N(\cos\theta'\cos\xi'\sin(\xi+\phi)-\cos\theta'\sin\xi'\cos(\xi+\phi))/(N'\cos\theta'(s-1)) \\ -2s'i(N'\cos\theta'-N\cos\theta)(-\sin\xi'\cos(\xi+\phi)-\cos\xi'\cos(\xi+\phi))C11 + (\cos\xi'\cos\theta'\sin\xi'\sin(\xi+\phi)-\cos\xi'\cos\theta'\cos\xi'\sin(\xi+\phi))C20 \\ /N'\cos\theta'\cos\theta'(s-1) \end{pmatrix}$$

[外2]

{(0153)}

(数式3)

$$\begin{pmatrix} h' \\ \alpha' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & 0 \\ 0 & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} h \\ \alpha \end{pmatrix} \quad (\text{式}7)$$

$$A = \sqrt{\frac{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (\text{式}8)$$

$$D = 1/A = \sqrt{\frac{\cos \theta (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}{\cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi)}} \quad (\text{式}9)$$

$$\Phi = \frac{2(N \cos \theta' \cdot N \cos \theta) [\cos \xi' \cos \xi' C_{02} + (\cos \theta' \sin \xi' \cos \xi + \cos \theta' \cos \xi' \sin \xi) C_{11} + \cos \theta \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi]}{\sqrt{\cos \theta \cos \theta' (\cos \theta' \cos \xi' \cos \xi + \cos \theta' \sin \xi' \sin \xi) (\cos \theta' \sin \xi' \sin \xi + \cos \theta \cos \theta' \cos \xi' \cos \xi)}} \quad (\text{式}10)$$

$$\begin{pmatrix} 1 - e' \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (\text{式}12)$$

[0154]

[外3]

$$z = \frac{(1/a+1/b)(\cos^2(t)y^2+x^2)}{2\cos(t)[1+1/2(1/a-1/b)\sin(t)y+\sqrt{1+(1/a-1/b)\sin(t)y-y^2/ab-\{1/ab+1/4\tan^2(t)(1/a+1/b)^2\}x^2}]} \\ + C_{30}x^3 + C_{21}x^2y + C_{12}xy^2 + C_{03}y^3 + C_{40}x^4 + C_{31}x^3y \\ + C_{22}x^2y^2 + C_{13}xy^3 + C_{04}y^4 + \dots + \dots \quad (\text{式28})$$

$$z = R - (R-s) \sqrt{1 - \frac{y^2}{(R-s)^2}}$$

$$+ C_{30}x^3 + C_{21}x^2y + C_{12}xy^2 + C_{03}y^3 + C_{40}x^4 + C_{31}x^3y \\ + C_{22}x^2y^2 + C_{13}xy^3 + C_{04}y^4 + \dots + \dots$$

ただしRは母線の曲率半径、sはs=s(x)で子線断面の形状の式である。 (式29)

[0155]

* * [外4]

$$z = Ah^2 + Bh^4 + Ch^6 + Dh^8 + Eh^{10} + \dots \quad \text{但し } h^2 = x^2 + y^2$$

(式a)

$$z = \frac{h^2/R}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(h/R)^2}} + Ah^2 + Bh^4 + Ch^6 + Dh^8 + Eh^{10} + \dots \quad \text{但し } h^2 = x^2 + y^2$$

(式b)

[0156]

[外5]

表1

実施例1(単焦点、反射面のみ)

水平半画角 31.7
 垂直半画角 24.8
 枠り径 1.60

像サイズ 水平4.8mm × 垂直3.6mm

各面の面頂点の位置(y_i , z_i)、面法線の方向角θ_i、面間隔di、硝材データ、面特性

i	y _i	z _i	θ _i	di	ndi	v di	
1	0.00	0.00	0.00	15.00	1		絞り
2	0.00	15.00	25.00	18.00	1		反射面
3	-13.79	3.43	5.00	18.00	1		反射面
4	-25.36	17.22	-10.00	15.00	1		反射面
5	-30.69	3.12	-15.00	14.00	1		反射面
6	-41.21	12.12	-25.00	19.00	1		反射面
7	-41.21	-6.88	0.00		1		像面

非球面形状

R 2面 a = -1.70158e+01 b = -1.99675e+01 t = 2.69345e+01
 C03=-5.82940e-05 C21=-4.91116e-05
 C04= 7.50340e-06 C22= 2.72683e-05 C40= 1.85155e-05

R 3面 a = -1.46738e+01 b = -1.06108e+01 t = -4.78682e+01
 C03= 1.59750e-03 C21= 2.47761e-03
 C04= 4.94211e-06 C22= 2.88441e-04 C40=-5.44074e-06

R 4面 a = -2.54952e+01 b = -2.54826e+01 t = 3.27938e+01
 C03= 7.38144e-05 C21= 5.35154e-05
 C04=-9.58347e-07 C22= 5.29320e-07 C40=-1.94878e-06

R 5面 a = -6.25646e+01 b = -8.38258e+00 t = -4.03998e+01
 C03= 6.23735e-04 C21= 6.79503e-04
 C04=-8.18199e-05 C22=-1.19484e-04 C40=-1.48499e-04

R 6面 a = -2.13397e+01 b = -2.40733e+01 t = 2.57011e+01
 C03=-1.74466e-05 C21=-6.32275e-05
 C04=-8.53737e-07 C22= 1.33874e-07 C40=-3.17827e-06

表2-1

面形状の数値出力(x, yに対するzの値)

第2面

y\ x	-4.5303	-3.6242	-2.7182	-1.8121	-0.9061	0.0000	0.9061	1.8121	2.7182	3.6242	4.5303
-10.2020	-3.2121	-2.9662	-2.7773	-2.6435	-2.5637	-2.5372	-2.5637	-2.6435	-2.7773	-2.9662	-3.2121
-8.1616	-2.2520	-2.0166	-1.8352	-1.7064	-1.6295	-1.6039	-1.6295	-1.7064	-1.8352	-2.0166	-2.2520
-6.1212	-1.5323	-1.3022	-1.1246	-0.9983	-0.9228	-0.8976	-0.9228	-0.9983	-1.1246	-1.3022	-1.5323
-4.0808	-1.0279	-0.8002	-0.6242	-0.4989	-0.4240	-0.3990	-0.4240	-0.4989	-0.6242	-0.8002	-1.0279
-2.0404	-0.7283	-0.5010	-0.3252	-0.2000	-0.1251	-0.1002	-0.1251	-0.2000	-0.3252	-0.5010	-0.7283
0.0000	-0.6310	-0.4027	-0.2261	-0.1003	-0.0251	0.0000	-0.0251	-0.1003	-0.2261	-0.4027	-0.6310
2.0404	-0.7398	-0.5090	-0.3305	-0.2035	-0.1275	-0.1022	-0.1275	-0.2035	-0.3305	-0.5090	-0.7398
4.0808	-1.0637	-0.8287	-0.6471	-0.5180	-0.4408	-0.4151	-0.4408	-0.5180	-0.6471	-0.8287	-1.0637
6.1212	-1.6191	-1.3773	-1.1909	-1.0584	-0.9792	-0.9529	-0.9792	-1.0584	-1.1909	-1.3773	-1.6191
8.1616	-2.4339	-2.1812	-1.9868	-1.8489	-1.7666	-1.7392	-1.7666	-1.8489	-1.9868	-2.1812	-2.4339
10.2020	-3.5583	-3.2868	-3.0789	-2.9319	-2.8443	-2.8152	-2.8443	-2.9319	-3.0789	-3.2868	-3.5583

第3面

y\ x	-1.8373	-1.4698	-1.1024	-0.7349	-0.3675	0.0000	0.3675	0.7349	1.1024	1.4698	1.8373
-6.8079	-1.0295	-0.9457	-0.8811	-0.8352	-0.8078	-0.7987	-0.8078	-0.8352	-0.8811	-0.9457	-1.0295
-3.8463	-0.7143	-0.6320	-0.5684	-0.5233	-0.4964	-0.4674	-0.4964	-0.5233	-0.5684	-0.6320	-0.7143
-2.8847	-0.4841	-0.4033	-0.3410	-0.2967	-0.2702	-0.2614	-0.2702	-0.2967	-0.3410	-0.4033	-0.4841
-1.9231	-0.3287	-0.2497	-0.1886	-0.1453	-0.1194	-0.1108	-0.1194	-0.1453	-0.1886	-0.2497	-0.3287
-0.9616	-0.2391	-0.1619	-0.1024	-0.0601	-0.0348	-0.0264	-0.0348	-0.0601	-0.1024	-0.1619	-0.2391
0.0000	-0.2069	-0.1318	-0.0739	-0.0328	-0.0082	0.0000	-0.0082	-0.0328	-0.0739	-0.1318	-0.2069
0.9616	-0.2247	-0.1518	-0.0956	-0.0558	-0.0320	-0.0240	-0.0320	-0.0558	-0.0956	-0.1518	-0.2247
1.9231	-0.2859	-0.2154	-0.1610	-0.1225	-0.0995	-0.0919	-0.0995	-0.1225	-0.1610	-0.2154	-0.2859
2.8847	-0.3852	-0.3171	-0.2646	-0.2275	-0.2053	-0.1979	-0.2053	-0.2275	-0.2646	-0.3171	-0.3852
3.8463	-0.5190	-0.4530	-0.4024	-0.3665	-0.3451	-0.3380	-0.3451	-0.3665	-0.4024	-0.4530	-0.5190
4.8079	-0.6858	-0.6216	-0.5723	-0.5376	-0.5168	-0.5100	-0.5168	-0.5376	-0.5723	-0.6216	-0.6858

[0158]

* * [外7]

表2-2

面形状の数値出力(x, yに対するzの値)

第4面

y\ x	-6.7818	-5.4255	-4.0691	-2.7127	-1.3564	0.0000	1.3564	2.7127	4.0691	5.4255	6.7818
-8.7129	-2.5453	-2.1041	-1.7692	-1.5319	-1.3916	-1.3451	-1.3916	-1.5319	-1.7692	-2.1041	-2.5453
-6.9703	-2.0119	-1.5829	-1.2550	-1.0260	-0.8894	-0.8440	-0.8894	-1.0260	-1.2550	-1.5829	-2.0119
-5.2277	-1.6100	-1.1903	-0.8703	-0.6450	-0.5112	-0.4668	-0.5112	-0.6450	-0.8703	-1.1903	-1.6100
-3.4852	-1.3295	-0.9166	-0.6017	-0.3800	-0.2482	-0.2045	-0.2482	-0.3800	-0.6017	-0.9166	-1.3295
-1.7426	-1.1632	-0.7549	-0.4434	-0.2241	-0.0938	-0.0505	-0.0938	-0.2241	-0.4434	-0.7549	-1.1632
0.0000	-1.1057	-0.7000	-0.3905	-0.1725	-0.0430	0.0000	-0.0430	-0.1725	-0.3905	-0.7000	-1.1057
1.7426	-1.1538	-0.7486	-0.4396	-0.2220	-0.0927	-0.0497	-0.0927	-0.2220	-0.4396	-0.7486	-1.1538
3.4852	-1.3061	-0.8994	-0.5893	-0.3710	-0.2413	-0.1983	-0.2413	-0.3710	-0.5893	-0.8994	-1.3061
5.2277	-1.5631	-1.1526	-0.8399	-0.6198	-0.4890	-0.4457	-0.4890	-0.6198	-0.8399	-1.1526	-1.5631
6.9703	-1.9275	-1.5108	-1.1936	-0.9704	-0.8379	-0.7940	-0.8379	-0.9704	-1.1936	-1.5108	-1.9275
8.7129	-2.4045	-1.9788	-1.6549	-1.4273	-1.2922	-1.2473	-1.2922	-1.4273	-1.6549	-1.9788	-2.4045

第5面

y\ x	-2.5432	-2.0345	-1.5259	-1.0173	-0.5086	-0.0000	0.5086	1.0173	1.5259	2.0345	2.5432
-3.0855	-0.5418	-0.4346	-0.3527	-0.2950	-0.2607	-0.2493	-0.2607	-0.2493	-0.3527	-0.4346	-0.5418
-2.4684	-0.4491	-0.3424	-0.2609	-0.2034	-0.1693	-0.1579	-0.1693	-0.2034	-0.2609	-0.3424	-0.4491
-1.8513	-0.3790	-0.2724	-0.1910	-0.1336	-0.0995	-0.0882	-0.0995	-0.1336	-0.1910	-0.2724	-0.3790
-1.2342	-0.3305	-0.2236	-0.1421	-0.0846	-0.0504	-0.0391	-0.0504	-0.0846	-0.1421	-0.2236	-0.3305
-0.6171	-0.3029	-0.1954	-0.1133	-0.0555	-0.0212	-0.0098	-0.0212	-0.0555	-0.1133	-0.1954	-0.3029
0.0000	-0.2959	-0.1874	-0.1045	-0.0462	-0.0115	0.0000	-0.0115	-0.0462	-0.1045	-0.1874	-0.2959
0.6171	-0.3098	-0.1998	-0.1158	-0.0567	-0.0215	-0.0099	-0.0215	-0.0567	-0.1158	-0.1998	-0.3098
1.2342	-0.3451	-0.2332	-0.1478	-0.0876	-0.0519	-0.0400	-0.0519	-0.0876	-0.1478	-0.2332	-0.3451
1.8513	-0.4032	-0.2988	-0.2015	-0.1400	-0.1035	-0.0914	-0.1035	-0.1400	-0.2015	-0.2888	-0.4032
2.4684	-0.4856	-0.3682	-0.2787	-0.2156	-0.1781	-0.1657	-0.1781	-0.2156	-0.2787	-0.3682	-0.4856
3.0855	-0.5949	-0.4739	-0.3815	-0.3165	-0.2779	-0.2650	-0.2779	-0.3165	-0.3815	-0.4739	-0.5949

[0159]

[外8]

表2-3 面形状の数値出力 (x, yに対するzの値)

第6面

y\x	-5.5752	-4.4602	-3.3451	-2.2301	-1.1150	0.0000	1.1150	2.2301	3.3451	4.4602	5.5752
-6.3600	-1.6075	-1.3168	-1.0943	-0.9372	-0.8437	-0.8127	-0.8437	-0.9372	-1.0943	-1.3168	-1.6075
-5.0880	-1.3035	-1.0161	-0.7960	-0.6406	-0.5481	-0.5173	-0.5481	-0.6406	-0.7960	-1.0161	-1.3035
-3.8160	-1.0706	-0.7853	-0.5667	-0.4124	-0.3205	-0.2900	-0.3205	-0.4124	-0.5667	-0.7853	-1.0706
-2.5440	-0.9066	-0.6223	-0.4045	-0.2507	-0.1591	-0.1287	-0.1591	-0.2507	-0.4045	-0.6223	-0.9066
-1.2720	-0.8099	-0.5257	-0.3080	-0.1542	-0.0626	-0.0322	-0.0626	-0.1542	-0.3080	-0.5257	-0.8099
0.0000	-0.7802	-0.4951	-0.2767	-0.1224	-0.0305	0.0000	-0.0305	-0.1224	-0.2767	-0.4951	-0.7802
1.2720	-0.8175	-0.5306	-0.3108	-0.1555	-0.0630	-0.0323	-0.0630	-0.1555	-0.3108	-0.5306	-0.8175
2.5440	-0.9227	-0.6331	-0.4111	-0.2544	-0.1610	-0.1300	-0.1610	-0.2544	-0.4111	-0.6331	-0.9227
3.8160	-1.0976	-0.8041	-0.5793	-0.4205	-0.3259	-0.2945	-0.3259	-0.4205	-0.5793	-0.8041	-1.0976
5.0880	-1.3447	-1.0462	-0.8176	-0.6562	-0.5601	-0.5282	-0.5601	-0.6562	-0.8176	-1.0462	-1.3447
6.3600	-1.6675	-1.3627	-1.1295	-0.9648	-0.8668	-0.8342	-0.8668	-0.9648	-1.1295	-1.3627	-1.6675

[0160]

* * [外9]

表3

近軸量

powerのアジムス依存性		C02/(C20*(cos θ)^2)			
面\アジムス	0	30	60	90	
2	0.1071	0.1080	0.1098	0.1107	0.9676
3	-0.1541	-0.1583	-0.1669	-0.1712	0.9000
4	0.0762	0.0773	0.0797	0.0808	0.9422
5	-0.1258	-0.1307	-0.1406	-0.1455	0.8643
6	0.0879	0.0881	0.0887	0.0889	0.9885
total	-0.3102	-0.3118	-0.3133	-0.3131	

横倍率のアジムス依存性

面\アジムス	0	30	60	90
2	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
3	0.4284	0.4195	0.4026	0.3946
4	-1.5301	-1.4804	-1.3905	-1.3496
5	-0.7744	-0.8119	-0.9014	-0.9553
6	-0.6801	-0.6868	-0.6942	-0.6947
total	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000

[0161]

[外10]

表4

実施例2(単焦点、反射面+屈折面(共軸))

水平半画角 23.4
 垂直半画角 18.0
 紋り径 1.80

各面の面頂点の位置(y_i , z_i)、面法線の方向角 θ_i 、面間隔 d_i 、硝材データ、面特性

i	y_i	z_i	θ_i	D_i	N_{di}	v_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	4.27	1		絞り
2	0.00	4.27	0.00	6.25	1.58310	30.20	屈折面
3	0.00	10.52	18.50	8.10	1.58310	30.20	反射面
4	-4.87	4.05	-1.00	7.78	1.58310	30.20	反射面
5	-9.77	10.10	-19.16	7.37	1.58310	30.20	反射面
6	-9.85	2.73	-27.19	8.00	1.58310	30.20	反射面
7	-16.41	7.31	-27.53	5.81	1.58310	30.20	反射面
8	-16.41	1.50	0.00	2.50	1		屈折面
9	-16.41	-1.00	0.00		1		像面

球面形状

R 2面 $r_2 = -7.891$
 R 8面 $r_8 = 9.956$

非球面形状

R 3面 $a = -1.14012e+01$ $b = -1.18198e+01$ $t = 1.84936e+01$
 C03=-1.45648e-04 C21=-6.61332e-05
 C04= 2.63198e-05 C22= 2.63964e-05 C40= 4.74629e-05

R 4面 $a = 6.22159e+01$ $b = -3.63434e+00$ $t = -3.64536e+01$
 C03= 5.30792e-03 C21= 1.47021e-02
 C04= 4.56272e-04 C22= 7.05893e-04 C40=-4.80923e-03

R 5面 $a = -2.43894e+01$ $b = -8.62097e+00$ $t = 1.97882e+01$
 C03=-2.35500e-04 C21=-4.31297e-05
 C04=-4.98744e-05 C22=-1.20801e-04 C40=-7.58653e-05

R 6面 $a = 3.78988e+00$ $b = -3.21669e+00$ $t = -2.75834e+01$
 C03= 2.89135e-03 C21= 4.70991e-03
 C04=-6.03057e-04 C22=-1.27501e-03 C40=-8.22786e-04

R 7面 $a = -1.96892e+01$ $b = -2.48568e+01$ $t = 2.71952e+01$
 C03=-6.49245e-04 C21=-2.32589e-06
 C04= 1.18747e-05 C22= 1.91866e-04 C40=-9.90786e-05

[0162]

[外11]

表5

近軸量

powerのアジムス依存性					C02/(C20°(cos θ)^2)
面\アジムス	0	30	60	90	
2	-0.0739	-0.0739	-0.0739	-0.0739	1.0000
3	0.2728	0.2728	0.2728	0.2728	1.0001
4	-0.4186	-0.4144	-0.4060	-0.4018	1.0419
5	0.2485	0.2485	0.2486	0.2486	0.9998
6	-0.0746	-0.0745	-0.0743	-0.0742	1.0053
7	0.1445	0.1443	0.1439	0.1437	1.0061
8	0.0586	0.0586	0.0586	0.0586	1.0000
total	-0.2187	-0.2181	-0.2168	-0.2162	

横倍率のアジムス依存性				
面\アジムス	0	30	60	90
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	-0.2653	-0.2653	-0.2653	-0.2653
4	0.8338	0.8353	0.8381	0.8396
5	-3.1309	-3.1288	-3.1247	-3.1227
6	9.3685	9.2084	8.9042	8.7598
7	0.0607	0.0619	0.0642	0.0654
8	0.8579	0.8579	0.8577	0.8576
total	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

[0163]

[外12]

表6

実施例3(単焦点、反射面+屈折面(off-axisal))

水平半画角 19.1

垂直半画角 14.5

絞り径 6.00

各面の面頂点の位置(y_i , z_i)、面法線の方向角 θ_i 、面間隔 d_i 、硝材データ、面特性

i	y_i	z_i	θ_i	d_i	N_{di}	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	74.01	1		絞り
2	0.00	74.01	21.97	56.00	1		反射面
3	-39.42	33.11	0.85	53.46	1		反射面
4	-75.36	72.69	-18.54	72.34	1		反射面
5	-81.87	0.64	0.45	4.66	1.83400	37.16	屈折面
6	-82.11	-4.01	4.79	2.98	1		屈折面
7	-82.19	-6.99	6.46	1.07	1.84665	23.88	屈折面
8	-82.26	-8.06	0.18	4.76	1		屈折面
9	-82.83	-12.79	-10.13	6.31	1.71999	50.25	屈折面
10	-82.78	-19.10	6.30	3.83	1		屈折面
11	-82.45	-22.92	-0.77	0.39	1.83480	42.72	屈折面
12	-82.06	-29.98	-9.45	18.41	1		屈折面
13	-82.73	-48.40	2.00		1		像面

球面形状

非球面形状

R 2面 a = 3.36759e+02 b = -3.15328e+02 t = 8.95510e+01
C03=-8.68501e-06 C21=-2.25860e-05
C04=-2.82857e-07 C22=-3.57767e-07 C40=-1.39322e-08
C05= 8.22060e-09 C23= 3.33747e-09 C41=-5.80341e-09

R 3面 a = -3.99870e+01 b = -2.94443e+01 t = 5.12198e+01
C03=-1.60084e-05 C21= 2.02658e-05
C04=-2.78682e-06 C22= 1.58674e-05 C40= 2.56031e-05
C05= 1.68041e-07 C23=-2.82577e-07 C41=-3.88482e-07

R 4面 a = -2.36159e+02 b = -5.63231e+01 t = 2.33084e+01
C03=-1.12229e-05 C21=-1.15712e-05
C04= 1.34763e-07 C22= 1.65257e-07 C40= 1.57502e-07
C05= 1.26972e-09 C23=-4.19707e-11 C41=-3.16439e-09

R 5面 a = -4.40303e+01 b = -4.40303e+01 t = 0.00000e+00

R 6面 a = 2.61887e+01 b = 2.61887e+01 t = 0.00000e+00

R 7面 a = 1.60442e+01 b = 1.60442e+01 t = 0.00000e+00

R 8面 a = -4.03833e+01 b = -4.03833e+01 t = 0.00000e+00

R 9面 a = -5.43914e+01 b = -5.43914e+01 t = 0.00000e+00

R10面 a = 1.52012e+02 b = 1.52012e+02 t = 0.00000e+00

R11面 a = 1.04459e+02 b = 1.04459e+02 t = 0.00000e+00

R12面 a = 2.80571e+01 b = 2.80571e+01 t = 0.00000e+00

表7

近軸量

powerのアジムス依存性

面\アジムス	0	30	60	90	$C02/(C20^*(\cos \theta)^2)$
2	0.0253	0.0255	0.0257	0.0258	0.9817
3	-0.0416	-0.0431	-0.0461	-0.0476	0.8739
4	0.0216	0.0217	0.0219	0.0220	0.9815
5	0.0191	0.0190	0.0190	0.0190	1.0068
6	0.0319	0.0319	0.0319	0.0319	1.0010
7	-0.0531	-0.0531	-0.0529	-0.0529	1.0074
8	-0.0212	-0.0212	-0.0211	-0.0210	1.0040
9	0.0144	0.0142	0.0138	0.0136	1.0935
10	0.0049	0.0049	0.0048	0.0048	1.0136
11	-0.0080	-0.0080	-0.0080	-0.0080	1.0060
12	0.0309	0.0307	0.0303	0.0301	1.0121
total	-0.0479	-0.0482	-0.0487	-0.0489	

横倍率のアジムス依存性

面\アジムス	0	30	60	90
2	0.0409	0.0407	0.0403	0.0402
3	0.5593	0.5483	0.5273	0.5172
4	-2.6195	-2.5923	-2.5394	-2.5137
5	0.3544	0.3597	0.3704	0.3757
6	0.4994	0.5016	0.5060	0.5082
7	3.1019	3.0564	2.9680	2.9251
8	5.4201	4.9914	4.3269	4.0641
9	0.2494	0.2735	0.3205	0.3433
10	0.7992	0.8051	0.8173	0.8236
11	1.3925	1.3848	1.3678	1.3585
12	0.4212	0.4271	0.4405	0.4481
total	-0.0208	-0.0207	-0.0205	-0.0204

全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性

アジムス	0	30	60	90
f	-20.8605	-20.7619	-20.5505	-20.4383
H	-21.8683	-21.9981	-22.1082	-22.0949
H'	39.8260	39.7062	39.3925	39.1988
sk'	18.9655	18.9443	18.842	18.7605

[0165]

[外14]

表8-1

実施例4(ズーム)

	広角端	中間	望遠端
水平半画角	14.0	10.6	7.1
垂直半画角	10.6	8.0	5.3
絞り径	2.00	3.00	4.00

各面の面頂点の位置(y_i , $z_i(w)$)、面法線の方向角 θ_i 、面間隔 d_{di} 、硝材データ、面特性

i	y_i	$z_i(w)$	θ_i	d_{di}	n_{di}	ν_{di}	
1	0.00	0.00	0.00	変数	1		絞り
2	-8.90	3.00	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
3	0.00	9.00	28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
4	-8.90	3.00	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
5	-17.79	9.00	-28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
6	-17.79	3.00	0.00	変数	1		屈折面
7	-17.79	-10.58	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
8	-17.79	-16.58	-28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
9	-26.69	-10.58	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
10	-35.58	-16.58	28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
11	-35.58	-10.58	0.00	変数	1		屈折面
12	-35.58	-0.24	0.00	6.00	1.51633	64.15	屈折面
13	-35.58	5.76	28.00	10.73	1.51633	64.15	反射面
14	-44.48	-0.24	0.00	10.73	1.51633	64.15	全反射面
15	-53.37	5.76	-28.00	6.00	1.51633	64.15	反射面
16	-53.37	-0.24	0.00	変数	1		屈折面
17	-53.37	-5.09	-0.00		1		像面

[0166]

[外15]

表8-2

	広角端	中間	望遠端	
D 1	3.00	3.00	3.00	
D 6	13.58	7.92	2.00	
D11	10.34	8.22	9.56	
D16	4.86	8.40	15.65	
D 1～1面	$Zi(M) = Zi(W)$		$Zi(T) = Zi(W)$	
D 2～6面	$Zi(M) = Zi(W)$		$Zi(T) = Zi(W)$	
D 7～11面	$Zi(M) = Zi(W) + 5.66$		$Zi(T) = Zi(W) + 11.58$	
D12～16面	$Zi(M) = Zi(W) + 3.54$		$Zi(T) = Zi(W) + 10.79$	
D17面	$Zi(M) = Zi(W)$		$Zi(T) = Zi(W)$	
球面形状				
R 2面	$r = \infty$			
R 4面	$r = \infty$			
R 6面	$r = \infty$			
R 7面	$r = \infty$			
R 9面	$r = \infty$			
R11面	$r_{11} = \infty$			
R12面	$r_{12} = \infty$			
R14面	$r_{14} = \infty$			
R16面	$r_{16} = \infty$			
非球面形状				
R 3面	$C02 = -9.93659e-03$	$C20 = -1.22676e-02$		
	$C03 = 7.21398e-06$	$C21 = -1.44539e-03$		
	$C04 = 1.48230e-05$	$C22 = -7.24467e-05$	$C40 = 5.24580e-05$	
R 5面	$C02 = -1.00000e-02$	$C20 = -1.46379e-02$		
	$C03 = 8.61457e-05$	$C21 = -3.69104e-04$		
	$C04 = 9.82308e-05$	$C22 = -2.21626e-05$	$C40 = 7.11988e-06$	
R 8面	$C02 = -1.97738e-03$	$C20 = -2.14999e-03$		
	$C03 = -5.95281e-05$	$C21 = -6.08801e-05$		
	$C04 = 1.16019e-05$	$C22 = -3.03704e-05$	$C40 = -6.27330e-06$	
R10面	$C02 = 4.80326e-03$	$C20 = 6.42478e-03$		
	$C03 = -2.10929e-05$	$C21 = -7.01246e-05$		
	$C04 = -4.89310e-06$	$C22 = 7.92301e-07$	$C40 = -1.37335e-06$	
R13面	$C02 = -6.79637e-03$	$C20 = -8.35258e-03$		
	$C03 = -1.31716e-05$	$C21 = -1.21231e-04$		
	$C04 = -2.47265e-06$	$C22 = 5.40094e-06$	$C40 = -1.63241e-07$	
R15面	$C02 = 3.98146e-03$	$C20 = 4.12905e-03$		
	$C03 = -8.15022e-05$	$C21 = -8.04787e-04$		
	$C04 = 2.78836e-07$	$C22 = -3.52617e-07$	$C40 = -3.93188e-05$	

[0167]

* * [外16]

表9-1
近軸量

面\アジムス	各面のpowerのアジムス依存性				$C02 / (C20 * (\cos \theta)^2)$
	0	30	60	90	
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
3	0.0683	0.0676	0.0663	0.0657	1.0390
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
5	0.0687	0.0711	0.0760	0.0784	0.8763
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
8	-0.0136	-0.0131	-0.0120	-0.0115	1.1797
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
10	0.0330	0.0333	0.0341	0.0344	0.9590
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
13	0.0467	0.0462	0.0452	0.0447	1.0437
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
15	-0.0274	-0.0260	-0.0234	-0.0221	1.2369
16	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000

[0168]

[外17]

61
表9-2

62

各プロックの近軸量のアジムス依存性

		powerのアジムス依存性	0	30	60	90
ブロック\アジムス	2	0.0706	0.0707	0.0710	0.0712	
	3	0.0258	0.0264	0.0278	0.0285	
	4	0.0374	0.0372	0.0368	0.0366	

		物体内主点のアジムス依存性	0	30	60	90
ブロック\アジムス	2	17.7284	18.1970	19.1025	19.5379	
	3	22.0878	21.8010	21.2798	21.0427	
	4	-6.3903	-5.9546	-5.0536	-4.5895	

		像側主点のアジムス依存性	0	30	60	90
ブロック\アジムス	2	-17.6411	-17.4962	-17.1827	-17.0149	
	3	3.9071	3.0345	2.1632	1.7607	
	4	-21.6198	-21.5405	-21.3533	-21.2454	

		全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性	state\アジムス	0	30	60	90
f	1	-9.62198	-9.67001	-9.74419	-9.77029		
	2	-12.8052	-12.8549	-12.9213	-12.938		
	3	-19.2138	-19.2896	-19.3788	-19.3916		
H	1	-11.6097	-11.1447	-10.1588	-9.63993		
	2	-17.9926	-17.5163	-16.4797	-15.9215		
	3	-29.9318	-29.4547	-28.3483	-27.7208		
H'	1	9.72918	9.7186	9.66437	9.62072		
	2	12.848	12.876	12.8865	12.8688		
	3	19.1959	19.3317	19.5139	19.5591		
BK'	1	0.107193	0.048587	-0.079824	-0.149564		
	2	0.042803	0.021116	-0.034867	-0.069215		
	3	-0.017902	0.042127	0.135096	0.167466		

[0169]

[外18]

表10

実施例5(反射面全部がアジムス依存性の無い面で構成されている)

水平半画角 19.1
 垂直半画角 14.5
 紋り径 3.00

各面の面頂点の位置(y_i , z_i)、面法線の方向角 θ_i 、面間隔 d_i 、硝材データ、面特性

i	y_i	z_i	θ_i	d_i	N_{di}	v_{di}	特性
1	0.00	0.00	0.00	15.00	1		紋り
2	0.00	15.00	17.50	15.00	1		反射面
3	-8.60	2.71	0.00	15.00	1		反射面
4	-17.21	15.00	-17.50	15.00	1		反射面
5	-17.21	0.00	-35.00	15.00	1		反射面
6	-31.30	5.13	-52.50	15.00	1		反射面
7	-22.70	-7.16	-35.00		1		像面

球面形状

非球面形状

R 2面 $a = -1.71321e+01$ $b = -2.44883e+01$ $t = 1.75000e+01$
 C03= 9.95387e-06 C21=-1.12119e-04
 C04=-5.67052e-07 C22= 8.61328e-06 C40=-1.80506e-06

R 3面 $a = -2.56221e+01$ $b = -1.98536e+01$ $t = -3.50000e+01$
 C03= 3.55012e-04 C21=-2.33267e-04
 C04=-1.62010e-05 C22=-6.97813e-06 C40=-1.61811e-04

R 4面 $a = -2.33875e+01$ $b = -3.19439e+01$ $t = 1.75000e+01$
 C03= 6.18379e-05 C21=-6.37575e-05
 C04=-4.47829e-06 C22=-7.21756e-06 C40=-4.66257e-06

R 5面 $a = 9.91236e+02$ $b = -1.90574e+01$ $t = -3.50000e+01$
 C03= 2.20356e-04 C21=-4.31585e-04
 C04=-4.09169e-05 C22=-7.80995e-05 C40=-6.56681e-05

R 6面 $a = -2.18368e+01$ $b = -2.60699e+01$ $t = 1.75000e+01$
 C03= 5.56387e-05 C21=-1.03896e-04
 C04=-3.51710e-06 C22=-1.45696e-06 C40=-4.66969e-06

[0170]

[外19]

表11

近軸量

		powerのアジムス依存性			
面\アジムス	0	30	60	90	$C02/(C20^*(\cos \theta)^2)$
2	0.0992	0.0992	0.0992	0.0992	1.0000
3	-0.0894	-0.0894	-0.0894	-0.0894	1.0000
4	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	1.0000
5	-0.0515	-0.0515	-0.0515	-0.0515	1.0000
6	0.0842	0.0842	0.0842	0.0842	1.0000
total	-0.1671	-0.1671	-0.1671	-0.1671	

		横倍率のアジムス依存性			
面\アジムス	0	30	60	90	
2	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	
3	0.6945	0.6945	0.6945	0.6945	
4	-2.7471	-2.7471	-2.7471	-2.7471	
5	-1.2022	-1.2022	-1.2022	-1.2022	
6	-0.2589	-0.2589	-0.2589	-0.2589	
total	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

表12

実施例6(アジムス依存性無しの反射面3面+共軸屈折面2面)

水平物高 0.8

垂直物高 0.6

物体側NA 0.25

物体側テレンツトリック系

各面の面頂点の位置(Yi , zi)、面法線の方向角θi 、面間隔di 、硝材データ、面特性

i	Yi	zi	θi	di	Ndi	vdi	
0	0.00	-6.70	0.00	6.70	1		物体面
1	0.00	0.00	0.00	8.00	1.51633	64.15	屈折面
2	0.00	8.00	25.00	12.00	1.51633	64.15	反射面
3	-9.19	0.29	0.00	12.00	1.51633	64.15	反射面
4	-18.39	8.00	-25.00	8.00	1.51633	64.15	反射面
5	-18.39	0.00	0.00	12.00	1		屈折面
6	-18.39	-12.00	0.00		1		像面

球面形状

R 1面 r 2= -20.07822
R 5面 r 5= 141.350

非球面形状

R 2面 a =-1.77469e+01 b =-1.86780e+01 t = 2.50000e+01
R 3面 a =-6.57878e+00 b = 5.41790e+01 t =-5.00000e+01
R 4面 a = 2.19871e+01 b =-1.11111e+01 t = 2.50000e+01

[0171]

[外20]

表13 近軌量

各面のpowerのアジムス依存性					$C02/(C20^*(\cos \theta)^2)$
面\アジムス	0	30	60	90	
1	-0.0257	-0.0257	-0.0257	-0.0257	1.0000
2	0.1666	0.1666	0.1666	0.1666	1.0000
3	-0.2025	-0.2025	-0.2025	-0.2025	1.0000
4	0.0675	0.0675	0.0675	0.0675	1.0000
5	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	1.0000
total	0.0726	0.0726	0.0726	0.0726	

各面の横倍率のアジムス依存性				
面\アジムス	0	30	60	90
1	0.8530	0.8530	0.8530	0.8530
2	-1.2028	-1.2028	-1.2028	-1.2028
3	-13.4217	-13.4217	-13.4217	-13.4217
4	-0.2303	-0.2303	-0.2303	-0.2303
5	0.9548	0.9548	0.9548	0.9548
total	-3.0284	-3.0284	-3.0284	-3.0284

全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性				
アジムス	0	30	60	90
f	13.7694	13.7694	13.7694	13.7694
H	11.6163	11.6163	11.6163	11.6163
H'	-43.1039	-43.1039	-43.1039	-43.1039
sk'	-29.3345	-29.3345	-29.3345	-29.3345

[0172]

[外21]

表14 実施例7(各面はアジムス依存性有り、全系では良好に補正)

水平半圓角 31.7
 垂直半圓角 24.6
 枚り径 1.60

各面の面頂点の位置(Yi , zi)、面法線の方向角θi 、面間隔di 、硝材データ、面特性

i	Yi	zi	θi	Di	Ndi	νdi	
1	0.00	0.00	0.00	12.00	1		枚り
2	0.00	12.00	25.00	15.00	1		反射面
3	-11.49	2.36	5.00	15.00	1		反射面
4	-21.13	13.85	-15.00	13.00	1		反射面
5	-23.39	1.05	-20.00	12.00	1		反射面
6	-32.58	8.76	-25.00	12.00	1		反射面
7	-32.58	-3.24	0.00		1		像面

球面形状

非球面形状

R 2面 a =-1.26573e+01 b =-2.13703e+01 t = 2.98521e+01
 C03= 4.95834e-05 C21= 3.39115e-05
 C04=-9.19556e-07 C22= 5.93068e-07 C40= 1.85782e-06

R 3面 a =-9.07721e+00 b =-2.48186e+01 t =-5.53091e+01
 C03= 4.77040e-04 C21=-1.12441e-03
 C04=-4.62772e-05 C22= 3.90500e-04 C40=-9.91376e-04

R 4面 a =-2.69809e+01 b =-1.99832e+01 t = 3.10274e+01
 C03= 6.21654e-05 C21=-1.32598e-05
 C04=-5.40297e-06 C22= 7.31038e-08 C40=-7.70748e-06

R 5面 a =-3.17534e+01 b =-2.20633e+01 t =-3.59820e+01
 C03= 2.14600e-04 C21=-7.50117e-05
 C04=-1.30076e-04 C22=-4.65260e-05 C40=-1.66481e-04

R 6面 a =-1.36451e+01 b =-4.09400e+01 t = 1.81152e+01
 C03= 1.68250e-04 C21=-1.22840e-04
 C04=-8.49028e-06 C22= 2.61020e-05 C40=-2.18609e-05

表15

近軸量

各面のpowerのアジムス依存性					
面\アジムス	0	30	60	90	C02/(C20*(cos θ)^2)
2	0.1204	0.1232	0.1287	0.1315	0.9158
3	-0.1211	-0.1376	-0.1705	-0.1869	0.6479
4	0.0824	0.0848	0.0897	0.0921	0.8940
5	-0.0718	-0.0744	-0.0796	-0.0822	0.8731
6	0.1025	0.1001	0.0955	0.0932	1.0997
total	-0.2758	-0.2788	-0.2803	-0.2788	

各面の横倍率のアジムス依存性					
面\アジムス	0	30	60	90	
2	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	
3	0.5523	0.5138	0.4479	0.4198	
4	-1.8524	-1.7490	-1.5731	-1.4974	
5	-1.8090	-2.2504	-4.0156	-6.2537	
6	-0.2359	-0.2184	-0.1623	-0.1199	
total	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

全系の近軸量

az.(deg)	0	30	60	90	
f	-3.62594	-3.58678	-3.5677	-3.58626	
H	-4.09308	-3.9339	-3.56619	-3.37722	
H'	8.68666	8.75342	8.73797	8.60563	
ek'	5.06072	5.16664	5.17027	5.01938	

【0174】

【発明の効果】以上説明してきたように本発明の面表現方法を用いれば実際光線があたり使用される部分の表現の原点が使用される部分の中にあるために実際の面の加工、測定の際に座標変換する必要がなく、図面作成工程等簡略化できるという効果がある。

【0175】その時、面表現のベース式がOff-Axial2次曲面やトーリック面であれば理解しやすい上に加工上も易しくなるという効果がある。またこうした光学系(Off-Axial光学系)の各面の形状を変化させて光学系としての性能を最適化する場合、使用する面の部分の中心を結ぶ線の折れ曲がり方を固定したままで面形状を最適化することができるという効果がある。

【0176】また本発明の面表現方法を用いれば従来の「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」による表現方法に比べて、設計自由度が大きいのでより収差補正が行なえた光学系を得られる可能性が大きくなるという効果がある。またこの面形状表現方法を用いて構築されたOff-Axial光学系に対する近軸理論は従来の共軸系の近軸理論を完全に包含する形としてまとめあげることができるので、その理論を用いた計算処理方法ならびに処理装置を採用すれば、物体面から像面にいたる基準波長の光路(基準軸)が曲面と交わる点において面法線が基準軸と一致しない平面ではない曲面(Off-Axial曲面)を含む光学系(Off-Axial光学系)においても光学系

の設計の際に一般的に焦点距離や倍率などの近軸量を計算することができ、光学系の骨組みを理解しやすくなるという効果がある。

【0177】さらにこうした計算手法を光学系全系からズームレンズを構成する各ブロックにも適用することによってOff-Axial光学系を使った単焦点レンズやズームレンズを設計できるという効果がある。

【0178】さらにこの構築されたOff-Axial近軸理論により可能となったOff-Axial光学系の近軸トレースの手法を使って全系あるいはズームレンズのブロックといった複数面から成るブロックの近軸量がほぼアジムス依存性がないように各構成面の形状を決定するという計算処理方法ならびに処理装置を採用すれば、Off-Axial光学系においても光学系の形状決定という設計作業が効率的に行なえるという効果がある。

【0179】そしてこうした設計によって得られる光学系は全系あるいはズームレンズのブロックといった複数面から成るブロックのパワー、倍率といった近軸量がほぼアジムス依存性がないようになっているので、基準軸近傍で非点収差やディストーションが小さい光学系が得られるという効果がある。

【0180】さらにこの構築されたOff-Axial近軸理論により反射面に対して導き出される条件式、(数式27)をそのOff-Axial光学系を構成するOff-Axial曲面の反射面が満たすべき面の形状の制限式として採用すれば、O

f-Axial光学系においても光学系の近軸量が各面でアジムス依存性を持たず、近軸理論上は共軸系の回転対称面と全く同様に扱うことができるという効果がある。

【0181】そして(式27)をほぼ満たすような面を光学系の中に使うことで全系の近軸量のアジムス依存性を小さくおさえることができるので、全系あるいはズームレンズのブロックといった複数面から成るブロックのパワー、倍率といった近軸量がほぼアジムス依存性がないようによりしやすくなり、基準軸近傍で非点収差やディストーションがより出にくい光学系が得られるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る処理装置のブロック図
【図2】本発明の一実施例に係る近軸計算の処理動作を示すフローチャートの一例

【図3】本発明の一実施例に係る近軸計算の処理動作を示すフローチャートの別の例

【図4】本発明の一実施例に係る近軸計算の処理動作を示すフローチャートの更に別の例

【図5】本発明の一実施例に係るOff-Axial面の面形状計算の処理動作を示すフローチャートの一例

【図6】本発明の一実施例に係るOff-Axial光学系のアジムス依存性を押さえるように光学系を決定する計算の処理動作を示すフローチャートの一例

【図7】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の光学系の断面図

【図8】本発明の一実施例に係る光学系の出力の際に用いられている座標系を説明する図

【図9】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の第2面の面形状を示す図

【図10】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図11】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の全系での焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を示す図

【図12】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図13】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第1実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図14】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第2実施例の光学系の断面図

【図15】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第2実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図16】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第2実施例の全系での焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を示す図

【図17】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第2実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図18】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第2実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図19】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第3実施例の光学系の断面図

10 【図20】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第3実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図21】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第3実施例の全系での焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を示す図

【図22】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第3実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図23】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第3実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

20 【図24】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第4実施例の光学系の断面図

【図25】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第4実施例の各ブロックおよび全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図26】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第4実施例の3つのステートでの、全系の焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を示す図

30 【図27】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第4実施例の3つのステートでの、光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図28】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第4実施例の3つのステートでの、光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図29】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第5実施例の光学系の断面図

【図30】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第5実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

40 【図31】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第5実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図32】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第5実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図33】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第6実施例の光学系の断面図

50 【図34】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第6実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図35】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第6実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図36】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第6実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図37】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第7実施例の光学系の断面図

【図38】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第7実施例の各面および全系でのパワーのアジムス依存性を示す図

【図39】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第7実施例の全系での焦点距離、主点位置、バックフォーカスのアジムス依存性を示す図

【図40】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第7実施例の光学系の基準軸近傍のスポットダイアグラムを示す図

【図41】本発明の手法を使って近軸計算を行なった第7実施例の光学系の基準軸近傍のディストーションを示す図

【図42】従来の「共軸光学系の偏心による非対称非球面の表現方法」を示す図

【図43】Off-Axial光学系の一例を示す図

【図44】本発明で用いているOff-Axial光学*

* 系の基準軸と面との交点を原点にした表現方法を示す図
【図45】折れ曲がった基準軸に沿った近軸展開の座標系とそこで用いられる諸量を示す図

【図46】像点ベクトルの成分分解を示す図

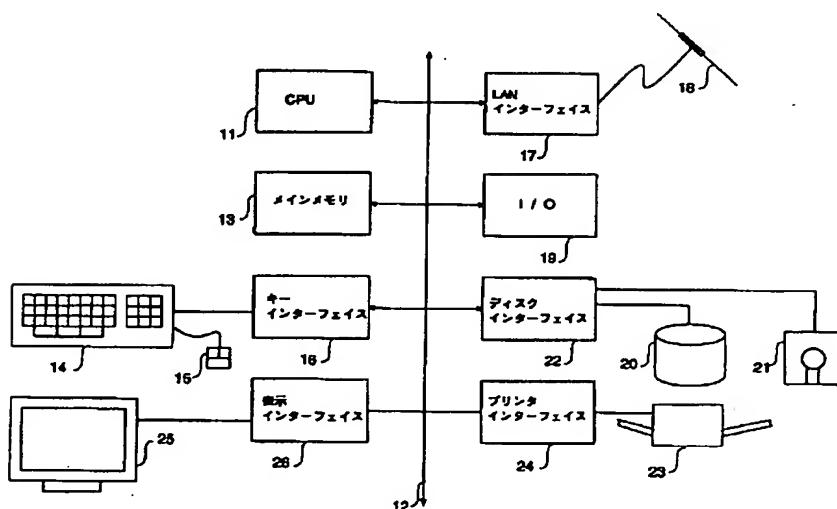
【図47】Off-Axial光学系の主点と焦点と焦点距離

【図48】基準軸が2焦点を通るOff-Axial反射2次曲面の例を示す図

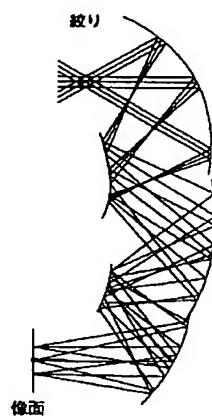
【符号の説明】

11	CPU
12	システムバス
13	メインメモリ
14	キーボード
15	マウス
16	キーインターフェイス
17	LANインターフェイス
18	LAN
19	I/Oインターフェイス
20	ハードディスク装置
21	フロッピーディスク装置
22	ディスクインターフェイス
23	プリンタ
24	プリンタインターフェイス
25	表示装置
26	表示インターフェイス

【図1】

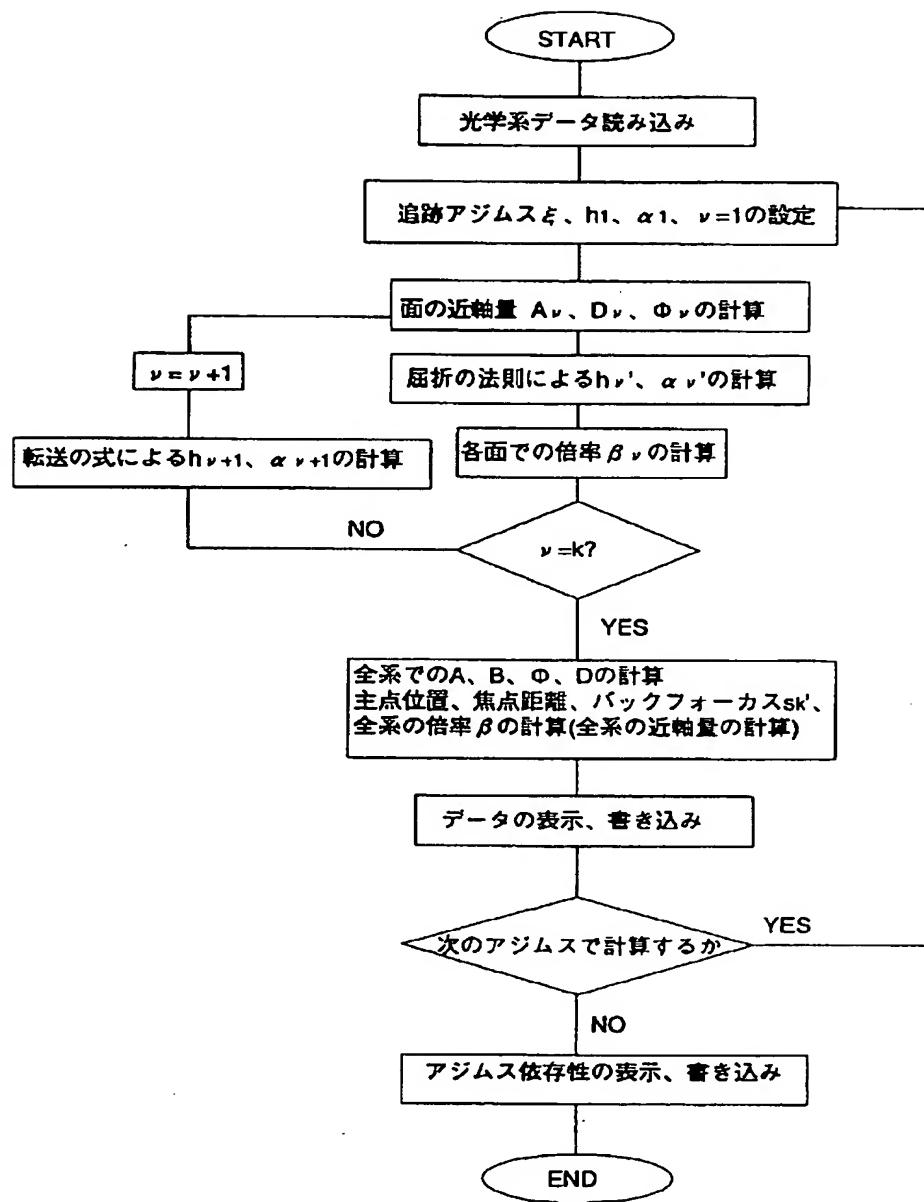


【図7】

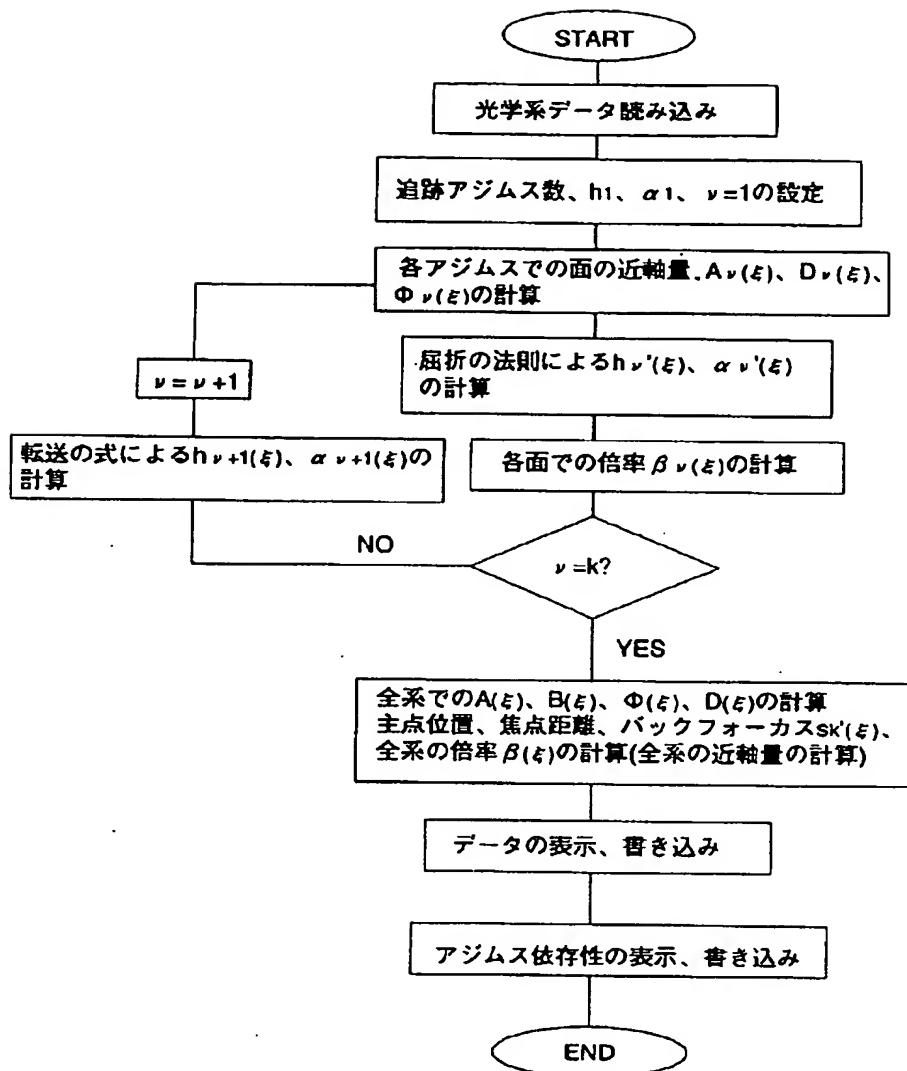


光学系断面図

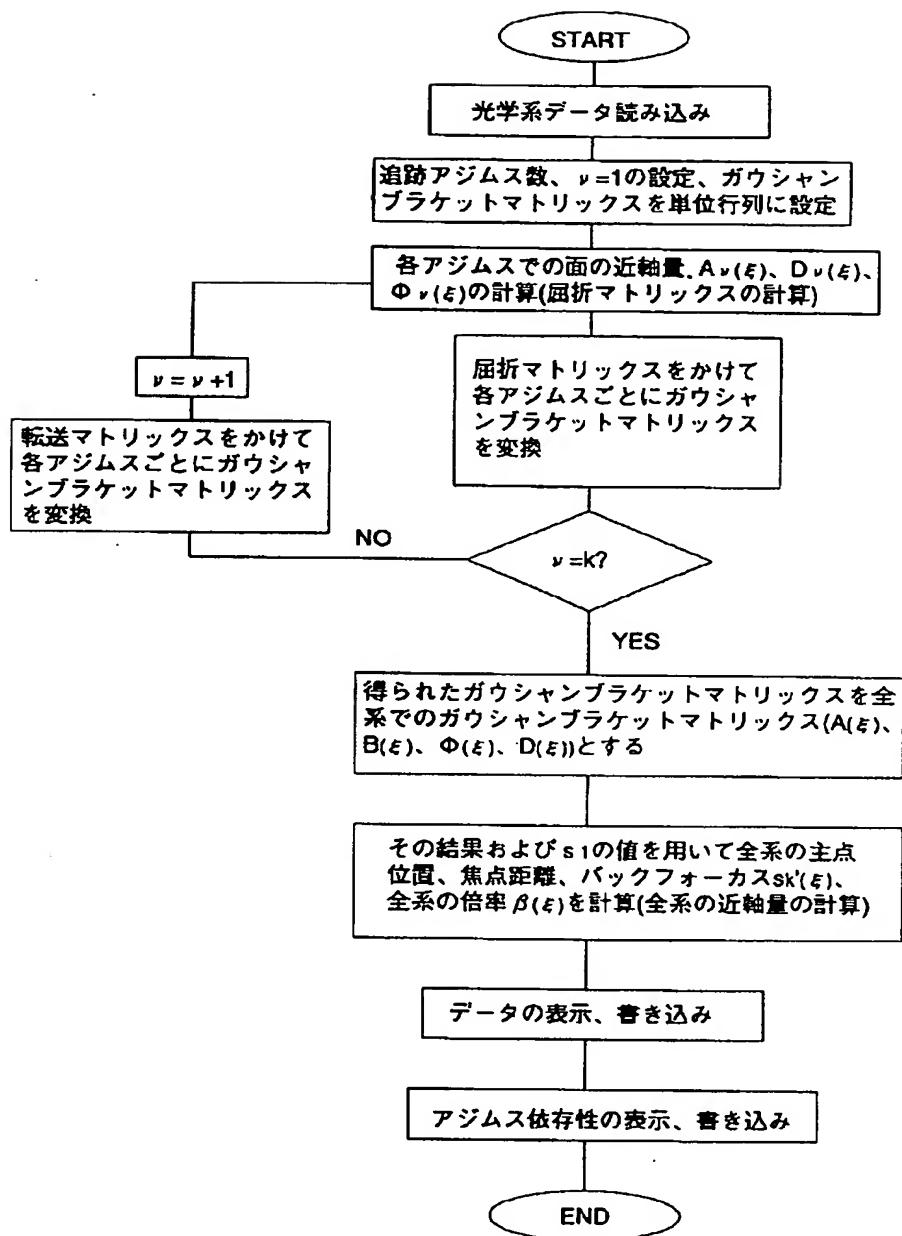
【図2】



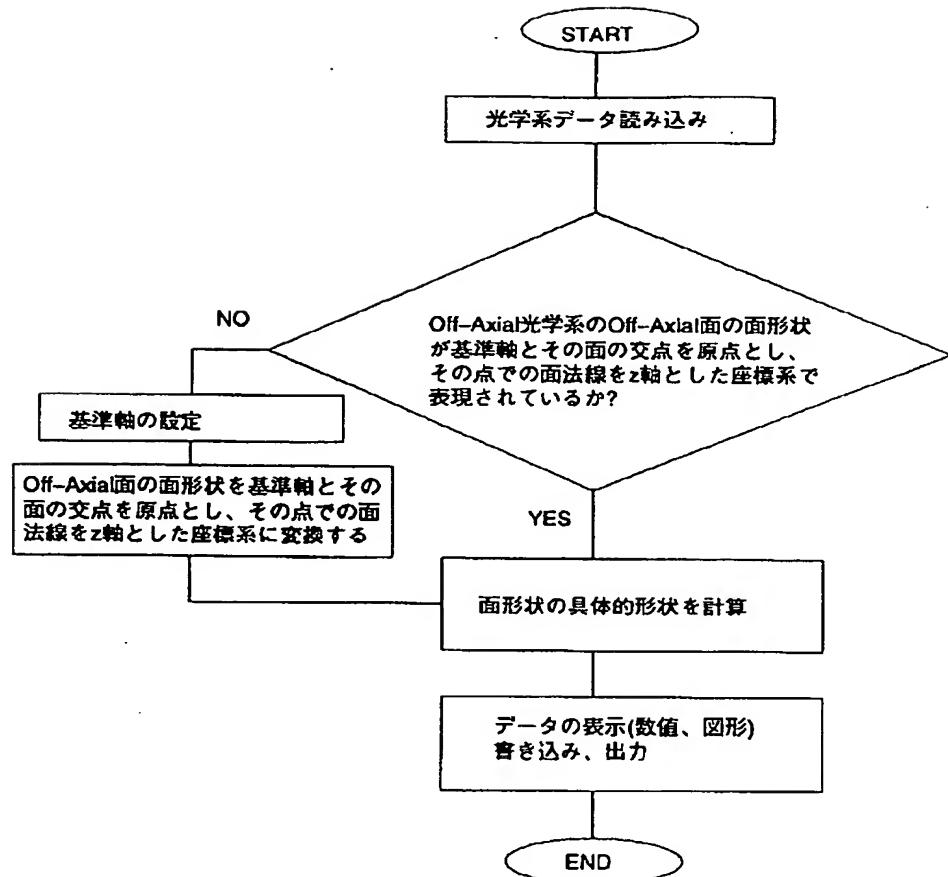
[図3]



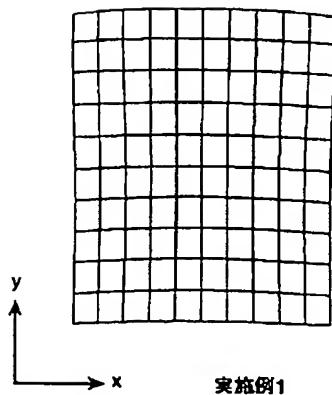
〔図4〕



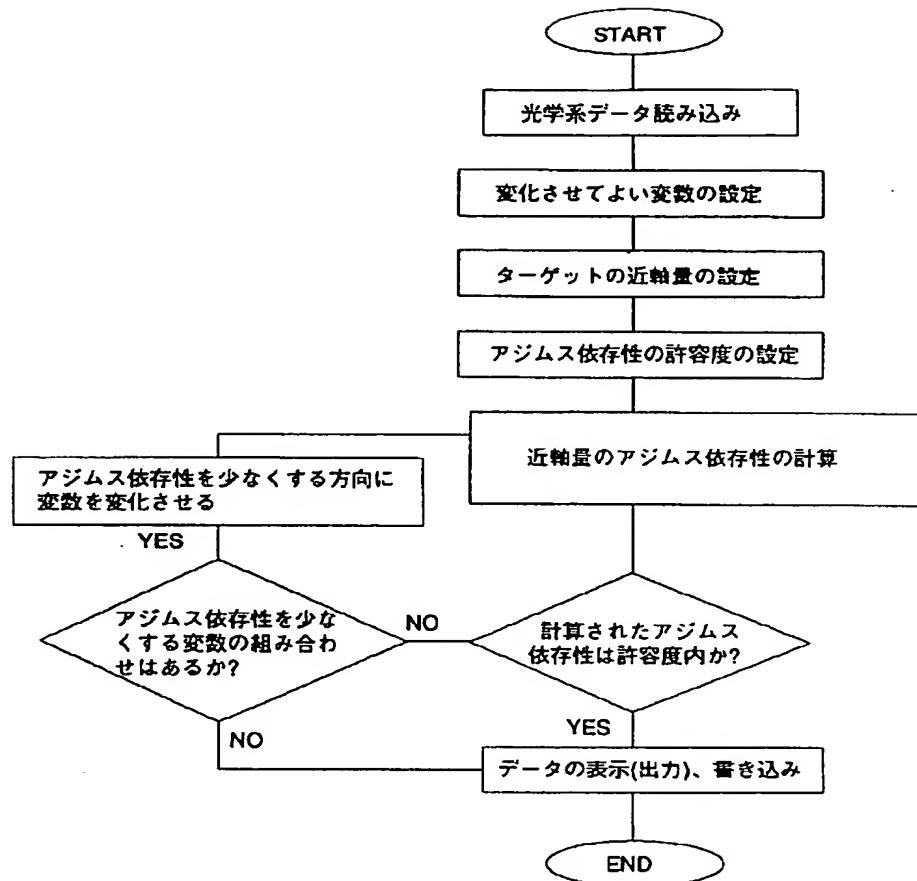
【図5】



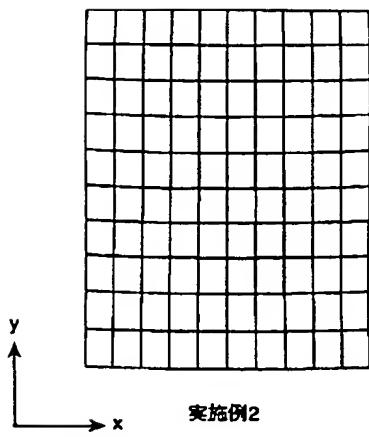
【図13】



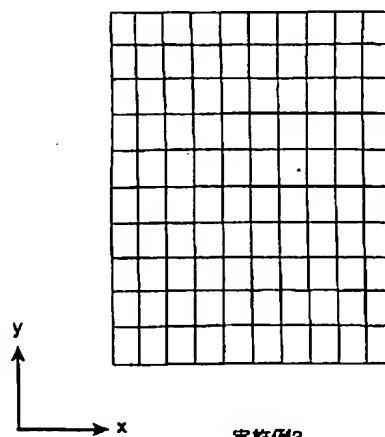
【図6】



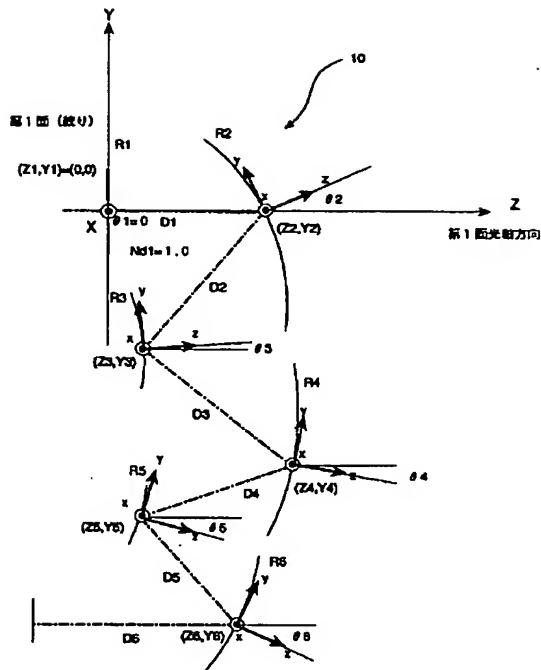
【図18】



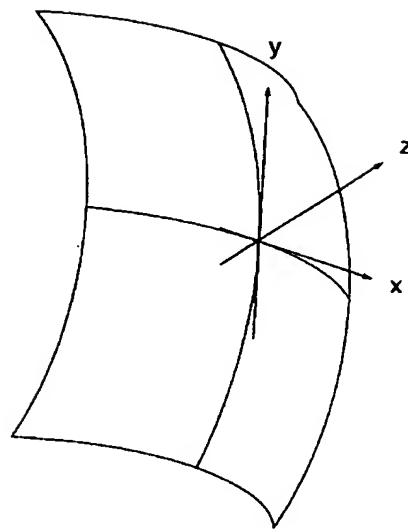
【図23】



【図8】



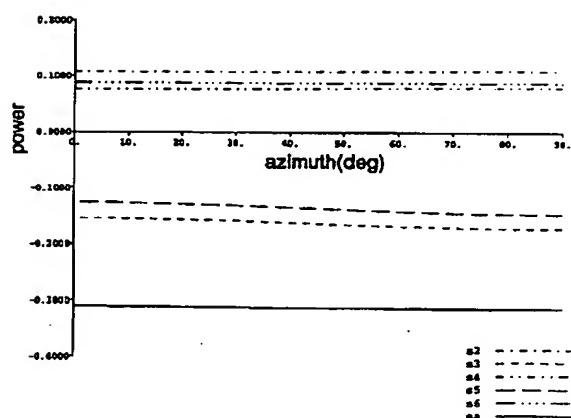
【図9】



【図12】



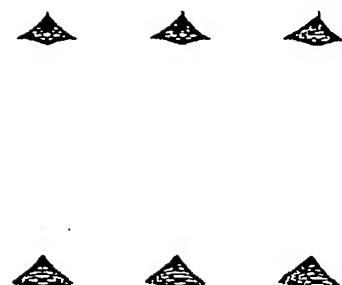
【図10】



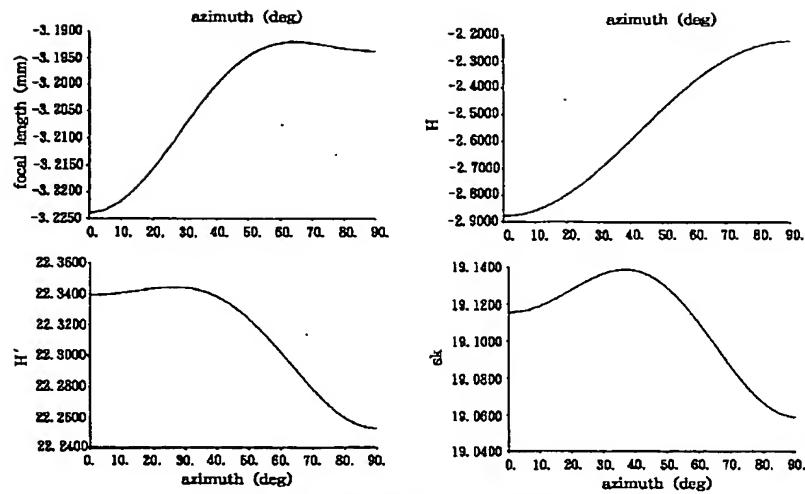
各面のpowerのアジムス依存性

実施例1

0.10000 MM

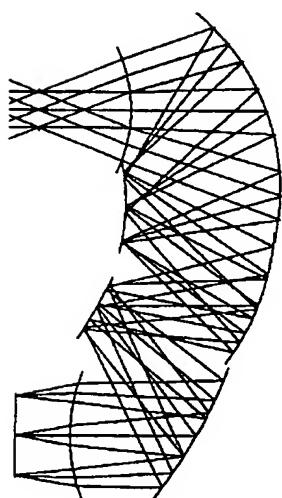


[図11]



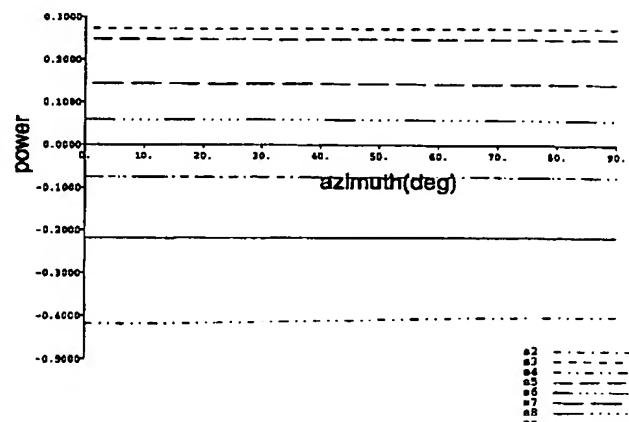
全系での近軸量のアジムス依存性

[図14]



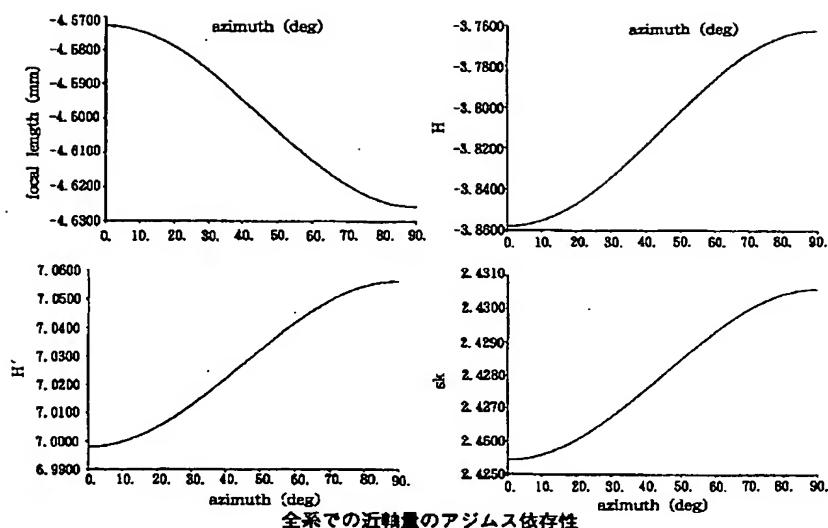
光学系断面図

[図15]

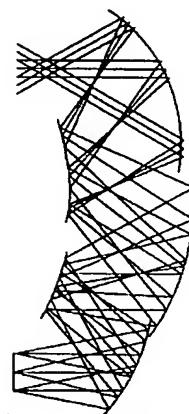


各面のパワーのアジムス依存性

【図16】

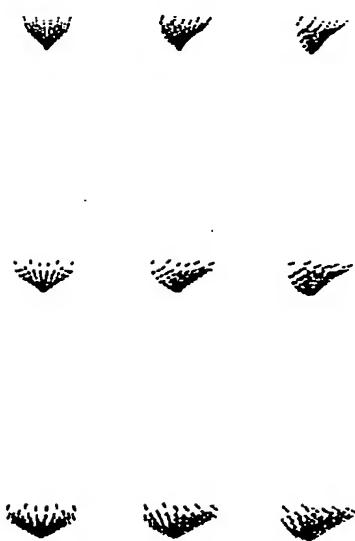


【図37】

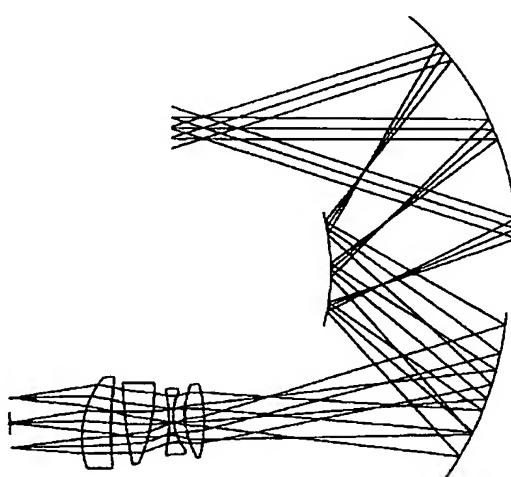


光学系断面図

【図17】



【図19】



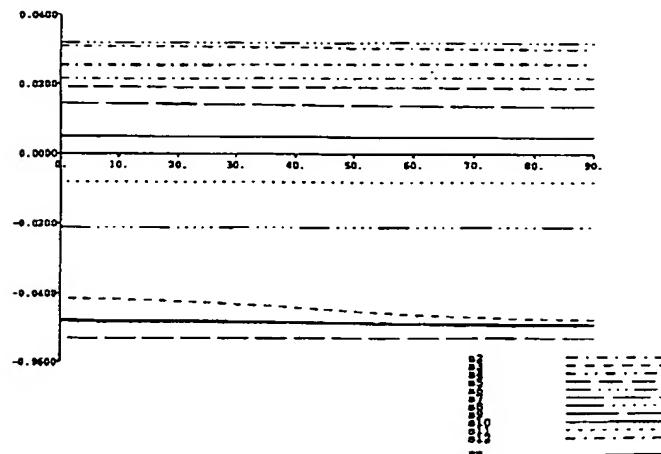
光学系断面図

0.10000 MM



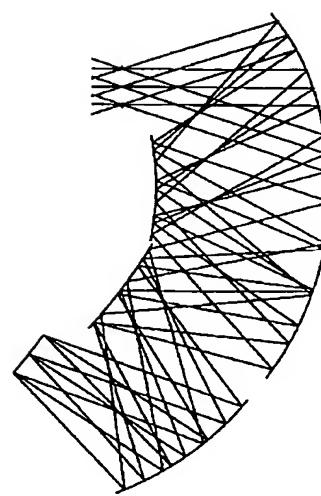
実施例2

【図20】



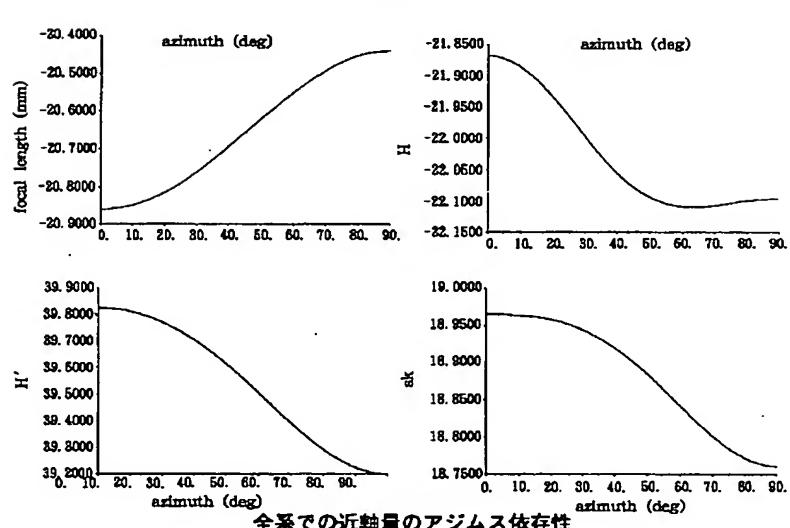
各面のパワーのアジムス依存性

【図29】



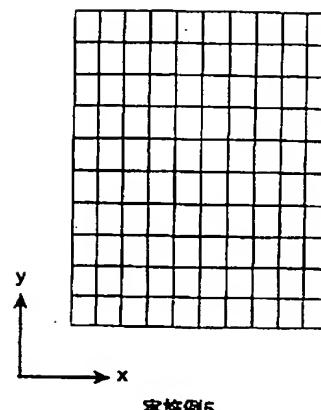
光学系断面図

【図21】



全系での近軸量のアジムス依存性

【図32】

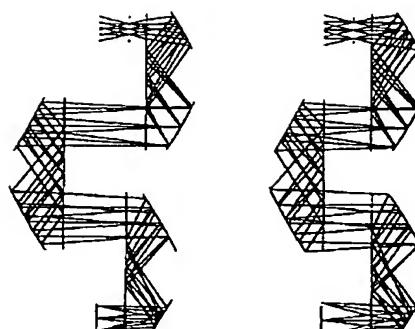


【図22】

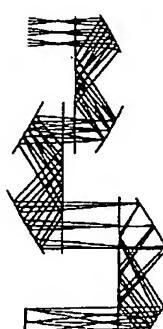


広角端

【図24】



中间位置



望遠端

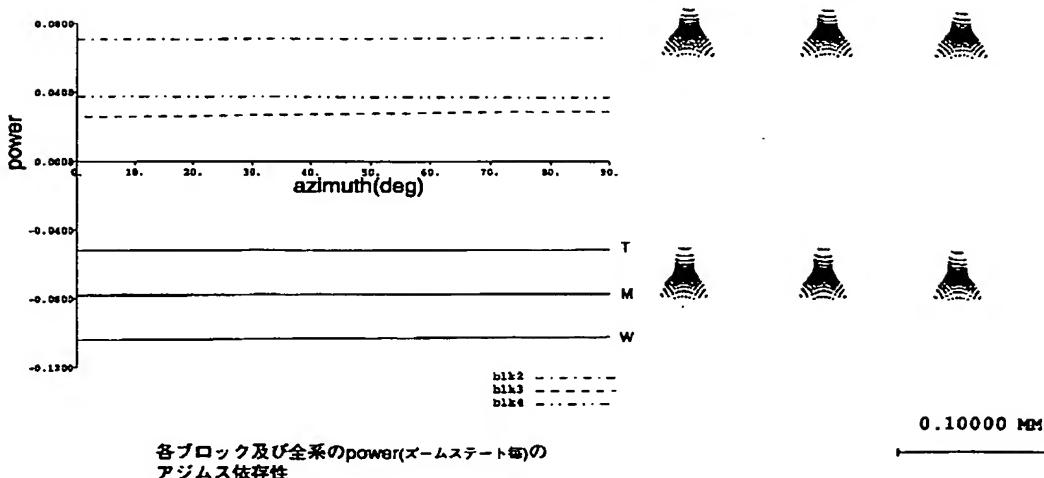
光学系断面図



【図31】

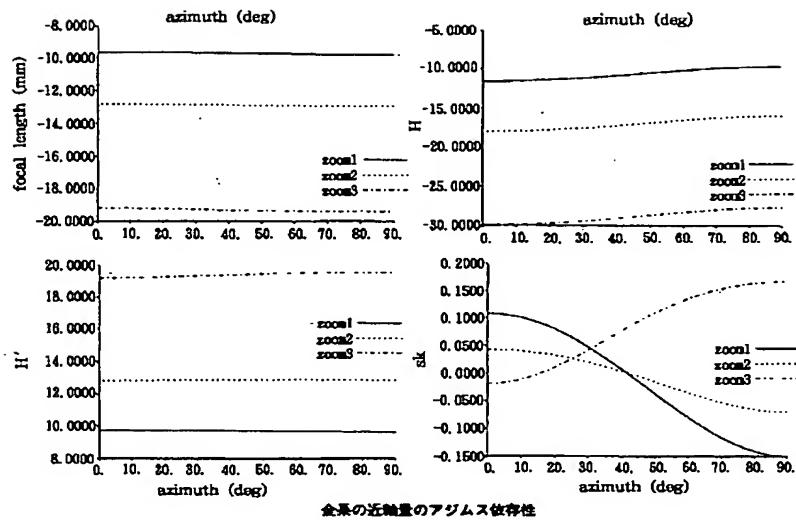
実施例3

【図25】

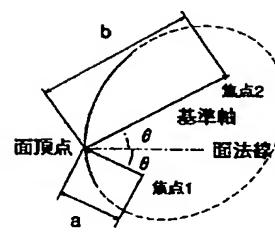


実施例5

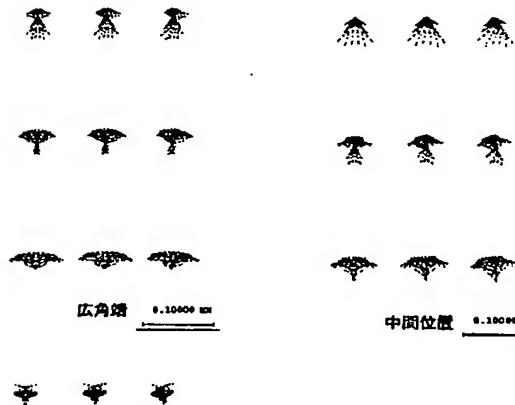
【図26】



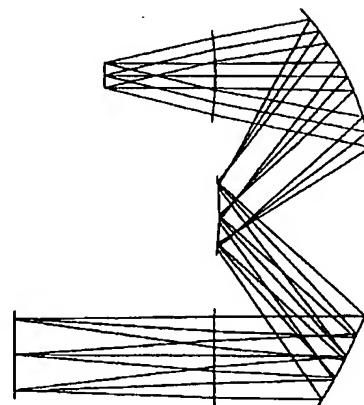
【図48】



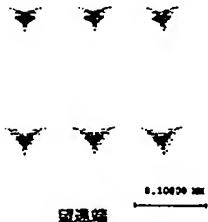
【図27】



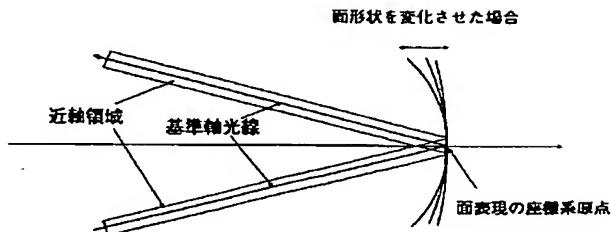
【図33】



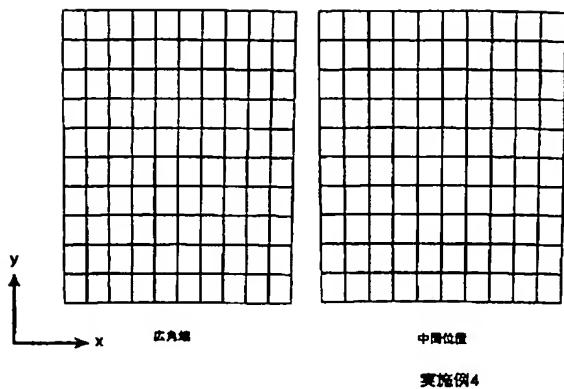
光学系断面図



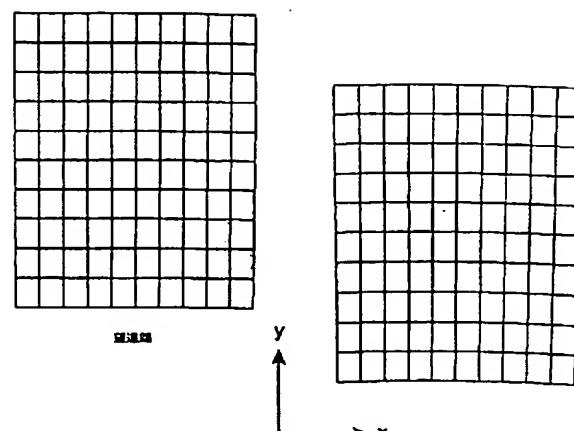
【図44】



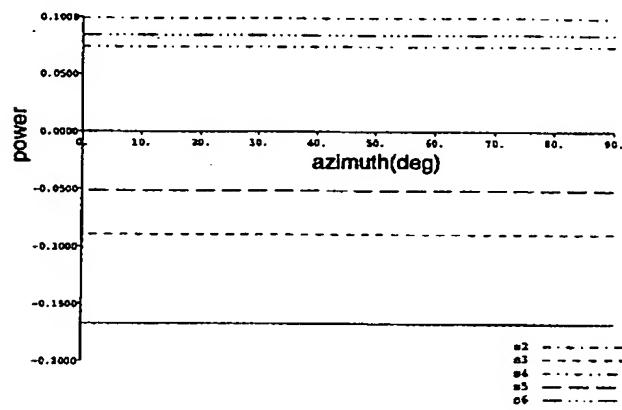
【図28】



【図30】

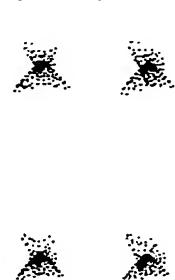


実施例4



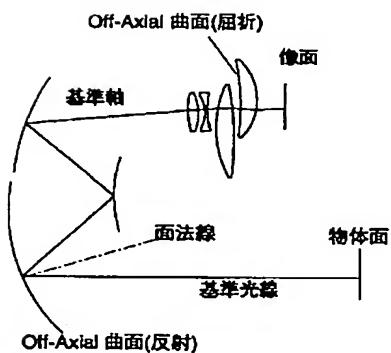
実施例6

【図40】



各面のpowerのアジムス依存性

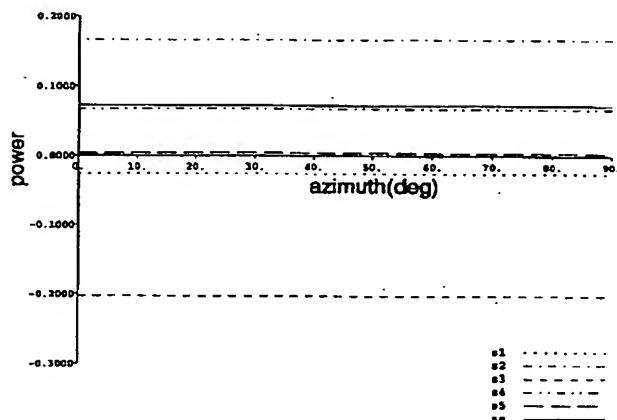
【図43】



実施例7

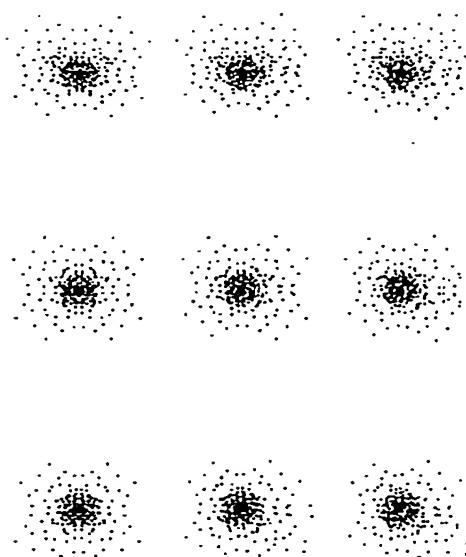
0.10000 m

【図34】

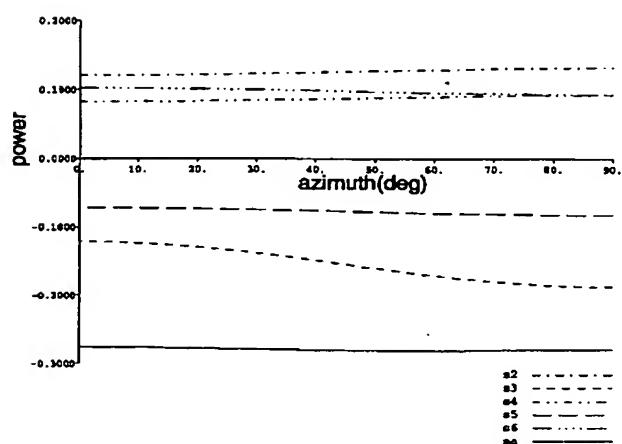


各面のpowerのアジムス依存性

【図35】



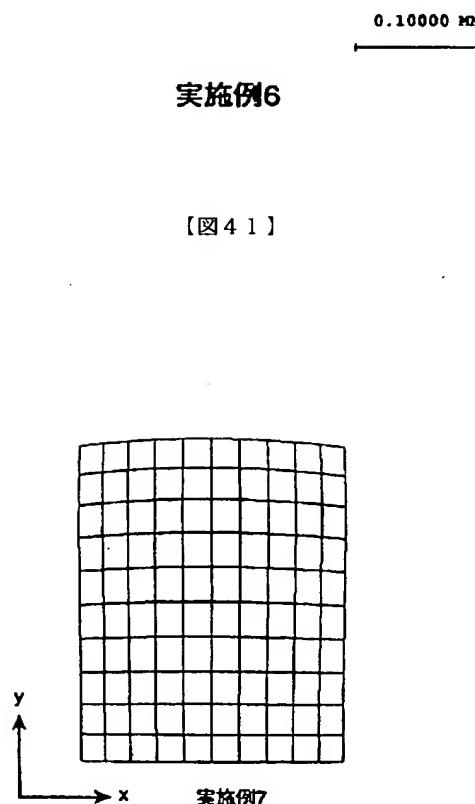
【図38】



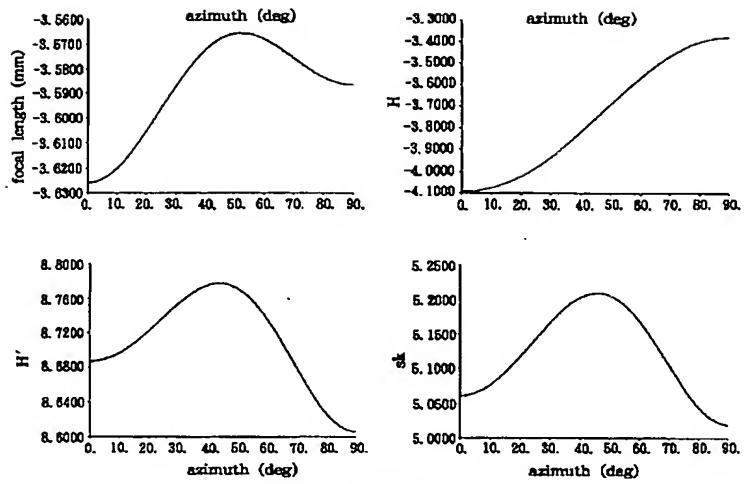
各面のpowerのアジムス依存性

実施例6

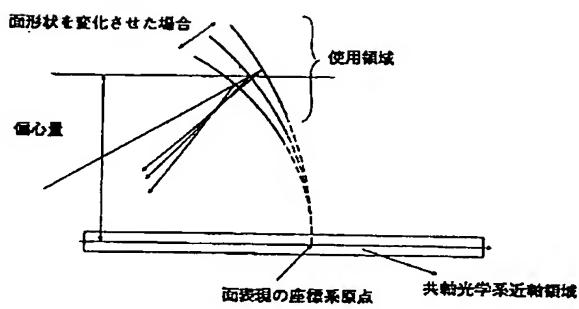
【図41】



【図39】



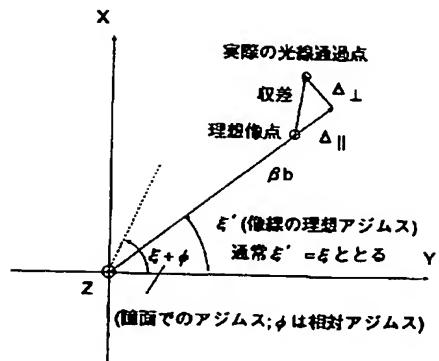
【図42】



【図45】



【図46】



【図47】

